

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“ КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО ”**

**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних  
виробництв**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ**

**освітнього ступеня «магістр»**

**з спеціальності: 133 Галузеве машинобудування**

**освітня програма (спеціалізація): Обладнання хімічних, нафтопереробних  
та целюлозно-паперових виробництв**

**на тему: Розроблення відпарної колони та дефлегматора для  
модернізації установки виробництва мастила**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО ”**

**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри МАХНВ  
\_\_\_\_\_ Я.М.Корнієнко  
(підпис)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

**Магістерська дисертація**  
**освітнього ступеня «магістр»**

**з спеціальності:** 133 Галузеве машинобудування

**освітня програма (спеціалізація) :** Обладнання хімічних, нафтопереробних та целюлозно-паперових виробництв

**на тему: Розроблення відпарної колони та дефлегматора для модернізації  
установки виробництва мастила**

**Виконав студент 6-го курсу, групи ЛН-81мп**

Пінчук Андрій Євгенович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Керівник дисертації** канд. техн. наук, доцент А. Р. Степанюк

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Консультанти:**

охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

канд. техн. наук, доц. І. М. Ковтун

\_\_\_\_\_  
(підпис)

розробка стартап-проекту

канд. економ. наук, доц. Н. В. Юдіна

\_\_\_\_\_  
(підпис)

технологія виготовлення деталі «ковпачок»

канд. техн. наук, ст. викл. Я. Г. Двойнос

\_\_\_\_\_  
(підпис)

автоматичний контроль і керування процесом

канд. техн. наук, доц. А. Ю. Сазонов

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Рецензент**

\_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає  
запозичень з праць інших авторів без відповідних  
посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2019 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

Освітній ступінь: магістр

Напрямок підготовки: 13 – Машинобудування

Спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування

Освітня програма (спеціалізація) : Обладнання хімічних, нафтопереробних та целюлозно-паперових виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Я. М. Корнієнко

“ \_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проект студенту**

Пінчуку Андрію Євгеновичу

**1. Тема проекту:** Розроблення відпарної колони та дефлегматора для модернізації установки виробництва мастила.

Керівник проекту кандидат технічних наук, доцент Степанюк А.Р.

Затверджена наказом по університету від “01” листопада 2019 р.

№3807-С

**2. Термін подання студентом проекту:** 01 грудня 2019р.

**3. Вихідні дані до проекту:** продуктивність колони за вихідною сумішшю –  $G = 10000$  кг/, температура в колоні – 423 К, масова доля фенолу та крезолу у суміші – 0,15 тиск у колоні – 0,1 МПа.

**4. Зміст пояснювальної записки:**

а) основна частина: розглянути існуючі конструкції відпарних колон та дефлегматорів, схем виробництва мастила, обґрунтувати вибір конструкцій

апаратів; проаналізувати обрані конструкції в порівнянні з кращими вітчизняними та світовими аналогами; здійснити розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій: параметричний, конструктивний та гідравлічний, розрахунки на міцність і надійність елементів конструкції апаратів; виконати складальні креслення відпарної колони, дефлегматора.

б) економічна частина: обґрунтувати модернізацію установки та оцінити її ефективність;

в) охорона праці: провести аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів, які пов'язані з експлуатацією відпарної колони, запропонувати заходи щодо обмеження їх дії, виконати відповідні розрахунки, викласти основні правила безпечної експлуатації установки та дій обслуговуючого персоналу у надзвичайних ситуаціях;

г) частина автоматичного керування: скласти та обґрунтувати схему автоматизованого керування відпарної колони та дефлегматору; скласти специфікацію приладів, що комплектують схему;

д) технологія машинобудування: розробити маршрутні карти виготовлення ковпачку, виконати розрахунки режимів штампування, розробити пристрій для штамповки.

**5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо):** технологічна схема установки – А1, кресленик складальний відпарної колони – А1, кресленик складальний кришки відпарної колони – А3, кресленик складальний днища відпарної колони – А2, кресленик складальний корпусу відпарної колони – А2, кресленик складальний тарілки відпарної колони – А2, кресленик складальний дефлегматора – А1, кресленик складальний трубчатки дефлегматора – А1, схема автоматичного керування – А1, штамп для витяжки ковпачка, ковпачок – А3, ілюстрація технічної ідеї патенту – А3, ілюстрація до розділу охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях – А3.

**6. Консультанти розділів проекту:**

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Ковтун І. М.		
Розроблення стартап проекту	Юдіна Н.В.		
Технологія виготовлення кришки підшипника вальців	Двойнос Я. Г.		
Автоматичний контроль і керування процесом	Сазонов А. Ю.		

**7. Дата видачі завдання:** 05 вересня 2019 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	2	3	4
1	Переддипломна практика. Узгодження теми, вихідних даних, визначення джерел інформації. Добір матеріалів. Складання звіту з практики.	01.09.2019	
2	Патентне дослідження. Формування ідеї модернізації. Обґрунтування економічної доцільності модернізації.	15.09.2019	
3	Обґрунтування актуальності проекту. Опис установки. Схема установки. Вибір та опис відпарного апарату та дефлегматора. Технічна характеристика апаратів.	20.09.2019	
4	Параметричні розрахунки: визначення основних розмірів апаратів. Розрахунок товщини стінок апаратів.	10.10.2019	
5	Розробка складальних креслень апаратів та їх складальних одиниць. Добір конструктивних параметрів конструктивних елементів апаратів.	19.10.2019	
6	Розрахунки на міцність. Розробка супроводжуючих документів. Виконання схем.	05.11.2019	
7	Консультації відповідно до графіку з питань охорони праці, економіки, технології машинобудування, автоматизації процесу.	10.11.2019	
8	Уточнення графічної частини проекту та специфікації	15.11.2019	
9	Оформлення пояснювальної записки. Перевірка відповідності проекту діючим нормам за змістом і оформлення. Підготовка до захисту. Складання плану викладення доповіді, окремих питань.	20.11.2019	
10	Попередній захист проекту.	05.12.2019	

1	2	3	4
11	Корегування проекту за результатами попереднього захисту. Отримання рецензії, відгуку. Підготовка до захисту.	11.12.2019	

**Студент**

\_\_\_\_\_ А. Є. Пінчук  
(підпис)

**Керівник дипломного проекту**

\_\_\_\_\_ А. Р. Степанюк  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

УДК

661.727.4

Магістерська дисертація на тему «Розроблення відпарної колони та дефлегматора для модернізації установки виробництва мастила». НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»; Керівник Степанюк А.Р. – К., 2019. – 150с.: іл. 31. Виконавець А.Є. Пінчук – Бібліогр.: 44п

Магістерська дисертація складається зі вступу, восьми розділів, висновків, переліку посилань із 44 найменувань і 6 додатків. Загальний обсяг роботи становить 211с. основного тексту, 31 рисунку, 24 таблиць.

Метою роботи є модернізація установки виробництва мастила з розробкою відпарної колони та дефлегматора. Проект містить опис процесу виробництва мастила, конструкцій відпарної колони та дефлегматора, опис, призначення та області застосування обладнання, технічні характеристики, опис і обґрунтування вибраних конструкцій, розрахунки, що підтверджують працездатність і надійність конструкцій, рекомендації, щодо монтажу та експлуатації апаратів, а також рівень стандартизації та уніфікації, розробку стартап-проекту.

Результати роботи можуть бути використані з навчальною метою на кафедрі машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв.

МАСТИЛО, РЕКТИФІКАЦІЯ, ВІДПАРНА КОЛОНА, КОВПАЧОК, ДЕФЛЕГМАТОР, МАСООБМІН, ТЕПЛООБМІН.



## ABSTRACT

UDC 661.727.4

The Master's thesis on the theme "Development of stripper column and reflux condenser to modernization of oil production plant" National Technical University "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"; Scientific supervisor A. Stepanyuk – K., 2019. – 150 p.: il. – 31. Developer A. Pinchuk – References: 44

The Master's consists of an introduction, eight sections, conclusions, a list of references of 44 titles and 6 appendixes. The total volume is 211 pages of the main text, 31 figures, 24 tables.

The purpose of the work is to modernize the oil production plant with the development of a stripper column and a reflux condenser. The project contains a description of the process of production of oil, structures of stripping column and reflux condenser, description, purpose and scope of equipment, specifications, description and justification of selected structures, calculations that confirm the efficiency and reliability of structures, recommendations for the installation and operation of apparatus, as well as the level of standardization and unification, startup project development.

The results of the work can be used with the educational purpose at the department of machinery and apparatus of chemical and petroleum processing industries.

OIL, RECTIFICATION, STRIPPER COLUMN, CAP, REFLUX CONDENSER, MASS TRANSFER, HEAT EXCHANGE.

## Зміст

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів .....	13
Вступ.....	14
1 Призначення та область використання установок.....	15
1.1 Опис технологічного процесу.....	15
1.2 Вибір типів апаратів та їх місце в технологічній схемі .....	16
2 Технічна характеристика.....	17
3 Опис та обґрунтування вибраних конструкцій апаратів.....	19
3.1 Опис конструкцій, основних складальних одиниць та деталей апаратів.....	19
3.2 Порівняння основних показників розроблених конструкцій з аналогами .....	20
3.3 Вибір матеріалів .....	22
3.4 Патентне дослідження .....	22
4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій .....	33
4.1 Параметричний розрахунок відпарної колони.....	33
4.2 Розрахунок технологічних штуцерів апарату .....	43
4.3 Розрахунок еліптичної кришки.....	45
4.4 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки під дією внутрішнього надлишкового тиску .....	46
4.5 Розрахунок фланцевого з'єднання .....	48
4.6 Вибір опори апарата.....	55
4.7 Розрахунок поверхні теплообміну дефлегматора.....	56
4.8 Розрахунок товщини теплової ізоляції .....	63
4.9 Розрахунок трубної решітки .....	65
4.10 Розрахунок укріплення отворів .....	66

					<i>ЛН81мп.066211.001ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Розроблення відпарної колони та дефлегматора для модернізації установки виробництва мастила</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрцшів</i>
<i>Розробив</i>		<i>Пінчук А.Є.</i>						
<i>Перевірив</i>		<i>Степанюк А.Р.</i>					<i>11</i>	<i>173</i>
<i>Н. Контр.</i>						<i>КПІ імені Ігоря Сікорського, ІХФ, МАХНВ</i>		
<i>Затвердив</i>								

5 Охорона праці.....	68
5.1 Повітря робочої зони .....	68
5.2 Враження електричним струмом.....	70
5.3 Вплив високих температур .....	71
5.4 Промислове освітлення .....	72
5.5 Виробничий шум.....	73
5.6 Пожежна небезпека.....	74
5.7 Надзвичайні ситуації .....	76
5.8 План евакуації з приміщення на випадок виникнення пожежі.....	78
6 Рекомендації з монтажу та експлуатації масообмінного апарату.....	79
7 Рівень стандартизації та уніфікації .....	82
8. Розробка стартап-проекту .....	83
8.1. Опис ідеї проекту .....	83
8.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	86
8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	87
8.4 Розроблення ринкової стратегії проекту .....	95
8.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	97
8.6. Висновки до розділу .....	102
Висновки .....	103
Выводы.....	104
Conclusion.....	105
Перелік посилань.....	106
Додаток А Технологія виготовлення ковпачка.....	111
Додаток Б Схема автоматизації виробництва мастила .....	128
Додаток В Документація патентного дослідження .....	136
Додаток Г Патенти, які використані в патентному дослідженні .....	147
Додаток Д Програма розрахунку фланцевого з'єднання.....	158
Додаток Е Список наукових праць.....	166

## Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів

Умовні позначення:

$D$  – діаметр апарата, м;

$S$  – товщина стінки апарата, м;

$G$  – продуктивність по готовому продукту, кг/год;

$m$  – маса апарата, кг;

$r$  – питома теплота, Дж/кг;

$c$  – питома теплоємність, Дж/(кг·К);

$L$  – масові витрати повітря, кг/с;

$\omega_{\text{п}}$  – швидкість руху повітря, м/с;

$\rho$  – густина, кг/м<sup>3</sup>;

$[\sigma]$  – допустиме напруження, МПа;

$\varphi$  – коефіцієнт міцності зварного шва;

$n_{\text{т}}$  – коефіцієнт запасу міцності по межі текучості;

$Q$  – теплові витрати, Вт;

$V$  – об'єм, м<sup>3</sup>;

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
Змн	Апк	№ змін	Підпис	Дата		13

## Вступ

Мастильні фракції – це рідкі суміші високиплячих вуглеводів з температурою кипіння 300 – 600°C, отримуються за допомогою переробки нафти. Застосовуються для виробництва мастильних матеріалів, електрорізоляційного мастила, а також в косметичній промисловості [1].

Метою даного дипломного проекту є модернізація установки очистки мастила. З цією метою передбачено виконання необхідних розрахунків відпарної колони та дефлегматора.

Робота включає аналіз технологічного процесу з описом та обґрунтуванням обраних конструкцій апаратів та їх місце в технологічній схемі, опис та обґрунтування обраних конструкцій апаратів та їх місце в технологічній схемі, конструкції і принцип дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей, порівняння обраних конструкцій з аналогами, вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів, патентний огляд конструкцій основного обладнання установки, проведення розрахунків, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій апаратів, охорону праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, рекомендації щодо їх монтажу та експлуатації, рівень стандартизації та уніфікації, визначення очікуваних техніко-економічних показників застосування установки та схеми автоматичного керування технологічним процесом установки.

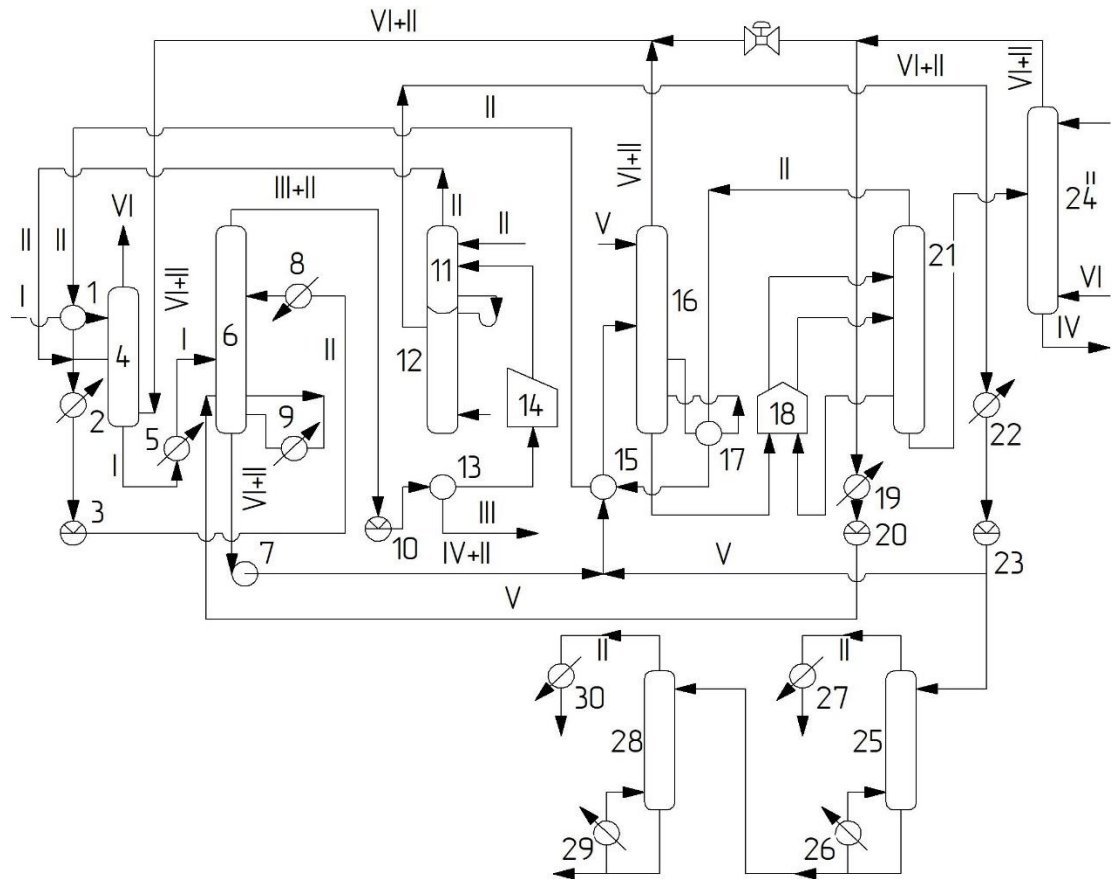
Технічне завдання на проектування видано 1 вересня 2019 року.

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
Змн	Апк	№	Ппк	ім		14

# 1 Призначення та область використання установок

## 1.1 Опис технологічного процесу

Технологічна схема виробництва мастила зображена на рисунку 1.



1, 2, 5, 8, 9, 13, 15, 17, 19, 22, 26, 29 – теплообмінні апарати на схемі; 3 – ємкості для крезолу та фенолу; 4 – апарат типу абсорбційної колона; 6 – екстраційний пристрій; 7 – екстракційний насос; 10 – рафінадна ємність; 11, 12, 16, 21, 24 – фенольні та крезольні регенератори, відповідно з сумішью рафінату та екстракту; 14, 18 – трубчасті печі; 20, 23 – фенольно крезольна та водяна ємкості; 25, 28 – колони для відпарювання фенолу та крезолу з суміші; 27, 30 – дефлегматори; I – початкова сировина; II – фенольно-крезольна суміш; III – рафінад; IV – екстракційна суміш; V – суміш води з фенолом та крезолом; VI – парорідинна суміш.

Рисунок 1 – Технологічна схема виробництва мастила

Через теплообмінник 1 початкова суміш надходить на абсорбер 4, де контактується початкова сировина з парами суміші води з фенольно та крезольним розчином, що надходять до абсорбційної колони 4 від колонного осушувача 16, надлишкові пари викидаються до атмосфери. Своєчасно в верхній частині колонного апарату надходить фенольно-крезольна суміш, а через ємність 20 в нижню частину колонного апарату подається фенольно-крезольна вода. Режим апарату 6 обмежено температурами фенольно-крезольної суміші та первинної сировини [2].

Суміш мастила, фенолу та крезолу подаються остаточно до відпарних колон 25 та 28, після розділення мастило відводиться в бункери

## 1.2 Вибір типів апаратів та їх місце в технологічній схемі

В технологічній схемі модернізовані апарати знаходяться за позицією 28 та 30.

Відпарні колони використовуються для досягнення необхідних концентрації фенолу та крезолу у виробництві мастила. Тип апарату вибирають в залежно від конкретних властивостей рафінату і області його використання.

Дефлегматор призначений для конденсації парів фенольно, крезольної суміші та води, які виходять з відпарної колони. З метою виведення фенолу та крезолу з технологічного процесу.. Дефлегматор доцільно виконувати у вигляді кожухотрубного теплообмінник.

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
Змн	Апк	№ Ппк/ім	Підпис	Дата		16

## 2 Технічна характеристика

### Технічна характеристика відпарної колони

В склад розчинника входить фенол та крезол. Відпарюють розчинник за допомогою водяної пари.

### Технологічна характеристика відпарної колони:

продуктивність по сировині $G$ , кг/год	10000;
температура сировини $T_1$ , К	423;
вміст розчинника в сировині $c_1$ , масс. %	0,15;
в складі розчинника фенолу, масс. %	50;
в складі розчинника крезолу, масс. %	50;
вміст розчинника в залишку колони $x_R$ , масс. %	0,005;
витрата перегрітого водяного пару на сировині $Z$ , масс. %	2;
температура водяної пари $T_2$ , °С	150;
тиск в колоні $p$ , кПа	101,3;
тип тарілок	ковпачкові;
кількість тарілок $N_p$ , шт.	8;
висота між тарілками $h_t$ , м	0,3;
габаритні розміри:	
висота колони $H$ , м	7,14;
діаметр колони $D$ , м	0,69.

### Технічна характеристика дефлегматора

У дефлегматорі конденсуються пари азеотропної суміші, які складаються з парів фенолу, крезолу та води. Протитечією подається охолоджуюча вода.

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арх.
Змн.	Апк	№	Ппк	ім.		Дата



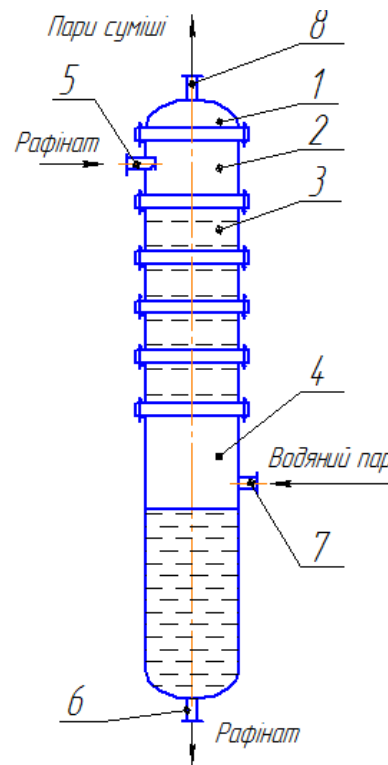
Технологічна характеристика дефлегматора:

витрати парів азеотропної суміші $G_2$ , кг/с	0,471;
початкова температура парів $T_{1п}$ , К	423;
кінцева температура парів $T_{1к}$ , К	393;
початкова температура води $T_{2п}$ , К	293;
кінцева температура води $T_{2к}$ , К	308;
витрата води $G_2$ , кг/с	18,128;
витрати теплоти $Q$ , МВт	105,6;
тиск в апараті $p$ , кПа	1,1375;
коефіцієнт теплопередачі	611,4;
розрахункова поверхня теплообміну	17,3;
тип дефлегматора	ТН;
поверхня теплообміну	18;
діаметр кожуха $D$ , м	0,4;
кількість труб $n$	105;
кількість ходів	1;
довжина труб $l$ , м	2;
габаритні розміри:	
висота дефлегматора $H$ , м	0,718;
довжина дефлегматора $L$ , м	2,52;
ширина дефлегматора $B$ , м	0,52.

### 3 Опис та обґрунтування вибраних конструкцій апаратів

#### 3.1 Опис конструкцій, основних складальних одиниць та деталей апаратів

Відпарна колона, яка зображена на рисунку 3.1 призначена для віпарювання розчину розчинника з рафінаду за допомогою водяної пари.



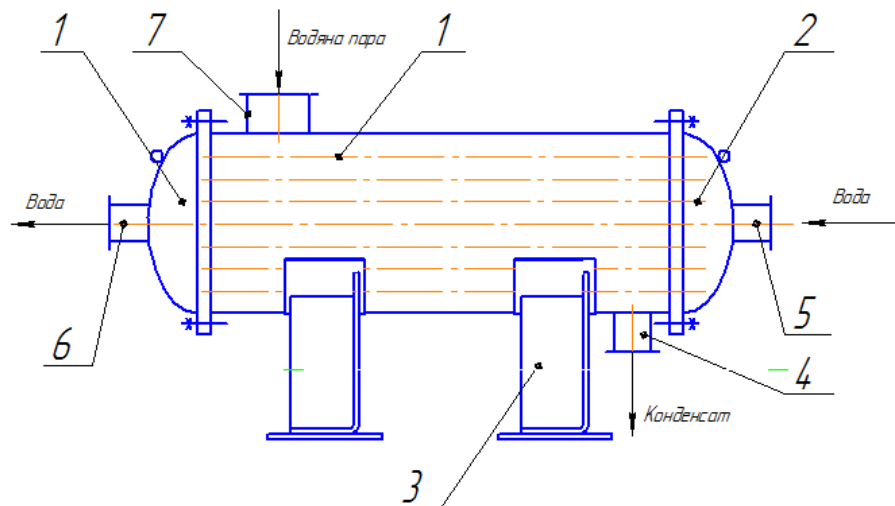
1 – еліптична кришка; 2 – циліндрична обичайка; 3 – царга з тарілками; 4 – куб; 5 – штуцер для входу рафінаду; 6 – штуцер для виходу рафінаду; 7 – штуцер для подачі водяної пари; 8 – штуцер для виходу парів азеотропної суміші.

Рисунок 3.1 – Схема відпарної колони

Відпарна колона складається з корпусу 4 до якого за допомогою фланців приєднані обичайки 3 та 2 а також еліптична кришка 1. Апарат встановлюється на опору. Рафінат завантажують через штуцера 5, а вивантажують 6. Для вводу водяного пару є штуцер 7 та для виводу парів азеотропної суміші

передбачений штуцер 7. Процес відпарювання безпосередньо відбувається на тарілках, які закріплені в царгі 3. Рафінат потрапляє на тарілку, де контактує з водяними парами через отвори в ковпачках.

Конструкція і принцип дії дефлегматора, який зображено на рисунку 3.2.



1 – корпус; 2 – еліптичні кришки; 3 – опора сідлова; 4,5, 6, 7, 8 – штуцера.

Рисунок 3.2 – Схема дефлегматора

Дефлегматор складається з кожуха 1, в якому приварена трубчасті елемент з трубною решіткою. Приєднується дві еліптичні кришки 2 за допомогою фланцевого з'єднання. Закріплюється на двох сідлових опорах 3 [11].

У дефлегматору вода рухається у трубному просторі, а пари фенольно, крезольної суміші - в міжтрубному просторі.

Штуцер 7 і 4 відповідно вхід і вихід парів фенолу та крезолу, які подаються з відпарної колони. Штуцер 5 і 6 відповідно вхід і вихід води.

### 3.2 Порівняння основних показників розроблених конструкцій з аналогами

Порівняння основних параметрів обраних апаратів відносно аналогів показано в таблицях 3.1 та 3.2.

Таблиця 3.1 – Порівняння колони з аналогами.

Параметр	Колона насадкова	Колона з сітчатими тарілками	Апарат, що проектується
Продуктивність по цільовому продукту, кг/с (бали)	2,36 (1)	2,36 (1)	2,36 (1)
ККД колони, у %	50 (3)	30 (2)	85 (5)
Габаритні розміри, м (бали):			
- висота	12,5 (3)	28 (1)	7,1 (5)
- діаметр	1 (1)	0,6 (3)	0,6 (3)
Загальна кількість балів	8	7	14

Таблиці 3.2 - Порівняльна характеристика дефлегматора.

Параметр	Вертикальний кожутрубний теплообмінник	Теплообмінник «труба в трубі»	Апарат, що проектується
Продуктивність, кг/с (бали)	0,471 (1)	0,471 (1)	0,471 (1)
Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (бали)	390 (2)	660 (5)	611 (4)
Розміри, м (бали):			
діаметр внутрішньої труби	0,025 (1)	0,025 (1)	0,025 (1)
довжина труби	6 (1)	4 (3)	2,5 (5)
число труб	105 (1)	105 (1)	105 (1)
число секцій	1 (5)	2 (4)	1 (5)
Поверхня теплообміну, м <sup>2</sup> (бали)	50,4 (1)	50,4 (1)	17,3 (5)
Загальна кількість балів	12	16	22

Висновок: за результатами отриманими в таблицях, обрані конструкції відпарної колони та дефлегматора є найбільш ефективними.

### 3.3 Вибір матеріалів

Матеріали для виготовлення хімічних апаратів та машин необхідно обирати у відповідності до специфіки їх використання, тому під час вибору матеріалів для апаратів необхідно керуватися галузевим стандартом.

Вибір матеріалів залежить від: температури, тиску, концентрації середовищ. При виборі матеріалу для виготовлення апарату чи машини враховуються: механічні властивості матеріалу – границя міцності, відносне подовження, твердість тощо. Оскільки при сучасній технології хімічного апаратобудування основний спосіб виконання нероз’ємних з’єднань – зварювання, підібрані матеріали мають добре зварюватись.

Оскільки в технології очистки мастила ставляться підвищені вимоги до чистоти сировини, то для всіх контактуючих з мастилом поверхонь обрано сталь 12Х18Н10Т відповідно до [3].

З’єднувальні елементи типу болтові елементи та гайки виготовляють відповідно за [4] із вуглецевих сталей Ст0 Ст35.

Шайби виготовлено також з вуглецевої сталі Ст3 за [5].

Прокладки для з’єднання виготовлено із матеріале – пароніт відповідно до [6].

### 3.4 Патентне дослідження

Предметом патентного пошуку є відпарний апарат та дефлегматор.

Відпарна колона [7].

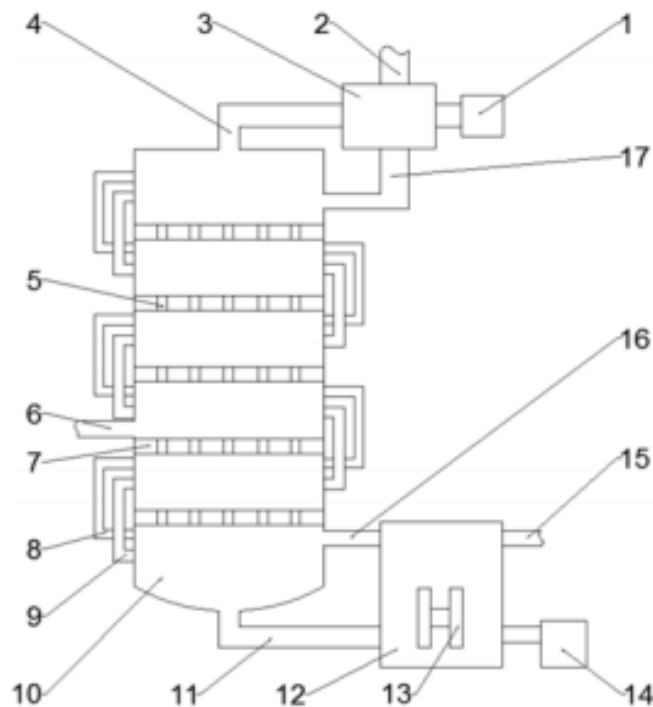
Відпарна колона (рисунок 3.3) описана в патенті – є різновидом апарату, що контактує з рідиною пари для проведення відпарки. Різниця тиску пари кожного компонента при одній і тій же температурі переноситься на легкий компонент (речовина з низькою температурою кипіння) у рідкій фазі, у газовій

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
Змн.	Апк.	№	Ппк	ім.		22
			Підпис	Дата		

фазі, а важкий компонент (компоненти високого кипіння) у газовій фазі переносяться у рідку фазу, щоб реалізувати поділ. У хімічному виробництві застосовується вид надзвичайно широкого пристрою для передачі маси та тепла.

Переваги: широка спеціалізація використання, велика площа поверхні контакту фаз.

Недоліком даного апарата є відсутність природньої циркуляції. Використання додаткових перелевних труб, які негативно позначиться на тепло- та масообміні.



1 – регенерація газу; 2 – труба для охолодження води; 3 – конденсатор; 4 – труба для виходу; 5 – отвір для фартухів; 6 – труба для подачі; 7 – водопровід; 8 – прохід; 9 – запасна труба; 10 – корпус вежі; 11 – випускний патрубок; 12 – перегрівальний котел; 13 – нагрівальний стрижень; 14 – рекуперація рідини; 15 – парова труба; 16 – вхідна труба повітря; 17 – вхідна труба.

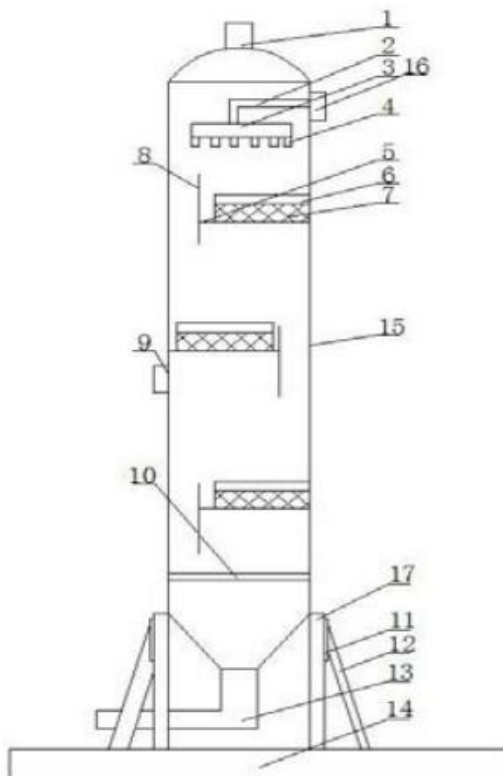
Рисунок 3.3 – Схема відпарного апарата

Відпарна колона [8].

Відпарна колона (рисунок 3.4) описана в патенті – є своєрідним контактним апаратом газ-рідини, поширене в обладнанні хімічної промисловості, яке може бути реалізовано за рахунок різниці летучих компонентів у розділенні сумішей.

Переваги: компактна конструкція колони, можливе використання високих перепадів тиски всередині колони.

Недоліком даного апарата є низька продуктивність, вузька спеціалізація використання. Подвійні насадки, які негативно впливають на само забрудненість, при чому в колоні відсутній люк для очищення.



1 – кришка; 2 – подача зрошення; 3 – зрошення; 4 – лійка; 5 – тарілка; 6 – насадка; 7 – насадка; 8 – переливний пристрій; 9 – вхід газу; 10 – днище; 11 – підкладка; 12 – опора; 13 – труба зливу; 14 – плита; 15 – корпус; 16 – вхід води; 17 – опора.

Рисунок 3.4 – Схема відпарного апарата

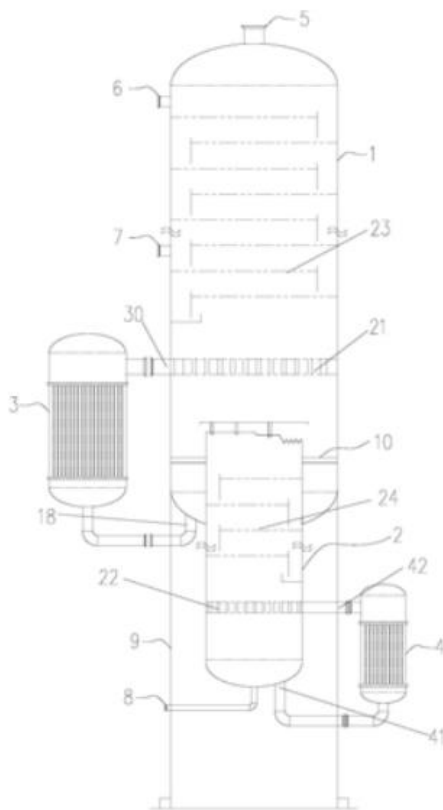
					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
Змн	Алк	№ дпк/ім	Підпис	Дата		24

Відпарна колона [9].

Відпарна колона (рисунок 3.5) описана в патенті – використовується у виробництві нафтохімічного продукту, обладнання має дуже важливе значення оптимізації технологічних процесів та енергозбереженні енергоносіїв нафтохімічної промисловості.

Переваги: автономність конструкції, регулювання температурного режиму.

Недоліком даного апарата є нераціональне використання енергоресурсів.



1 – корпус; 2 – нижня частина корпуса; 3 – проміжний реактор; 4 – реактор; 5 – вихід газу; 6 – рефлюкс; 7 – подача речовини; 8 – вихід матеріалу; 9 – опора; 10 – опорний кут; 18 – вхід до реатора; 21, 22 – подача пари з реактора; 23, 24 – тарілки; 30 – подача пари з реактора; 41 – вхід до реатора; 42 – парова труба.

Рисунок 3.5 – Схема відпарного апарата

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
Змн	Апк	№ ппк/ім	Підпис	Дата		25

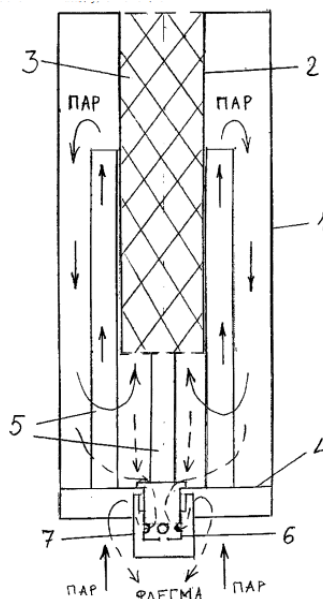


Відпарна колона [10].

Відпарна колона (рисунок 3.6) описана в патенті – є конструкцією колонових приладів, передбачених для очищення спиртової ректифікації.

Переваги: компактність конструкції, високий коефіцієнт теплопередачі.

Недоліком даного апарата є секційність всередині корпусу.



1 – труба; 2 – труба; 3 – насадка; 4 – пластина; 5 – подача пари; 6 – стінка; 7 – ковпачок.

Рисунок 3.6 – Схема відпарного апарата

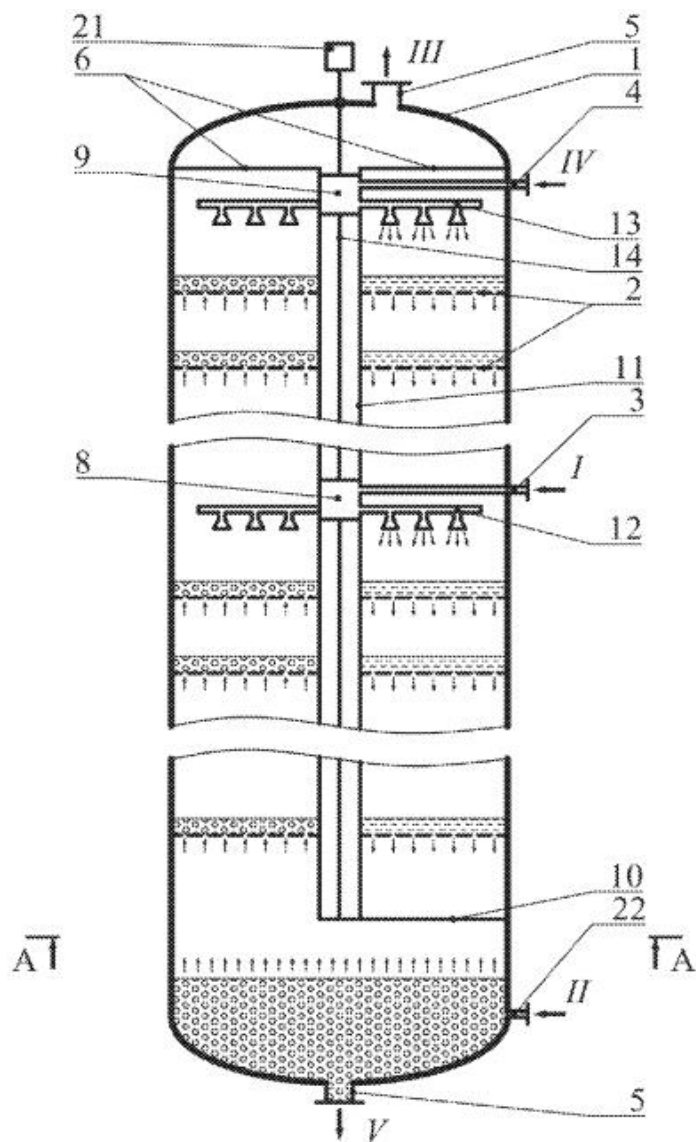
Відпарна колона [11].

Відпарна колона (рисунок 3.7) описана в патенті – уміщає вертикальний корпус з контактними масообмінними тарілками, нагрівачем, дефлегматором, холодильником, патрубками, що подаються, флегма подається через патрубки, пропонуються вертикальні перегородки, до них під перегородкою встановлений регулятор потоку парової парової фази, закріплений з можливістю горизонтального перемежування. Колонна постачає додаткові

вертикальні перегородки, причому всі перегородки пересікають всі контактні масообмінні тарілки та розбивають корпусні колони на рівні вертикальні секції.

Переваги: раціональне використання поверхні тепло- та масообміну.

Недоліком даного апарата є секційність всередині корпусу, сумісний ввід флегми та вихідної речовини через один патрубок.



1 – кришка; 2 – тарілки; 3 – патрубок подачі суміші; 4 – патрубок подачі флегми; 5 – вивід газу; 6 – перегородка; 8 – пристрій-регулятор; 9 – розрізнений пристрій; 10 – регулятор; 11 – оболонка; 12, 13 – патрубки; 14 – вал; 21 – привід; 22 – патрубок подачі пару.

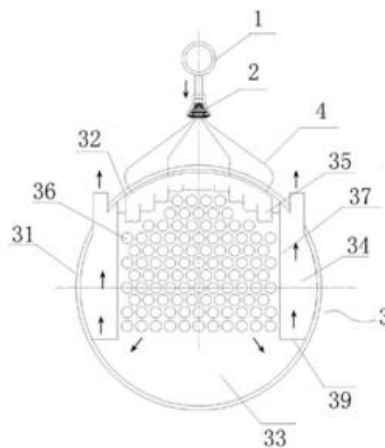
Рисунок 3.7 – Схема відпарного апарата

Випарний апарат [12].

Випарний апарат (рисунок 3.8) описаний в патенті – розкриває вигляд плівкових випарників, включаючи загальний трубопровід для розділення рідини, причому безліч розподільних пристроїв підключаються до загального трубопроводу для розділення рідини, теплообмінника і роздільної трубки для підключення до розподільника з теплообмінником.

Переваги: рівномірне розподілення фаз всередині теплообмінника.

Недоліком даного апарата є розташування вхідної та теплообмінної камери встик, вузькі канали проходу пари, що обмежує швидкість процесу, та поверхню контакту фаз.



1 – кільце для строповки; 2 – клапан; 3 – корпус; 4 – кришка; 31 – оболонка; 32 – впускна камера; 33 – теплообмінна камера; 34 – випускна камера; 35 – обмежувач камери; 36 – теплообмінні трубки; 37 – газоблок; 39 – подача суміші.

Рисунок 3.8 – Схема випарного апарату

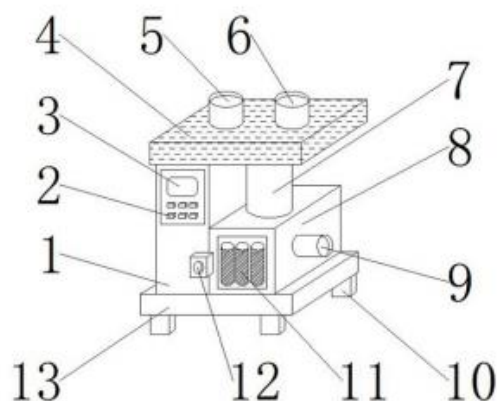
Випарний апарат [13].

Випарний апарат (рисунок 3.9) описаний в патенті – розкриває вигляд плівкових випарників, включаючи загальний трубопровід для розділення

рідини, причому безліч розподільних пристроїв підключаються до загального трубопроводу для розділення рідини, теплообмінника і роздільної трубки для підключення до розподільника з теплообмінником.

Переваги: автономність апарата, компактність конструкції, рівномірне розшарування фаз всередині теплообмінного апарату.

Недоліком даного апарата є розташування вхідної та теплообмінної камери встик, вузькі канали проходу пари, що обмежує швидкість процесу, та поверхню контакту фаз.



1 – корпус; 2 – управління; 3 – дисплей; 4, 5 – роздільна камера; 6 – паровий барабан; 7 – випарник; 8 – водяна ванна; 9 – труба подачі; 10 – опорна колона; 11 – труба нагріву; 12 – датчик температури; 13 – нижня частина.

Рисунок 3.9 – Схема випарного апарату

Випарний апарат з висхідною плівкою [14].

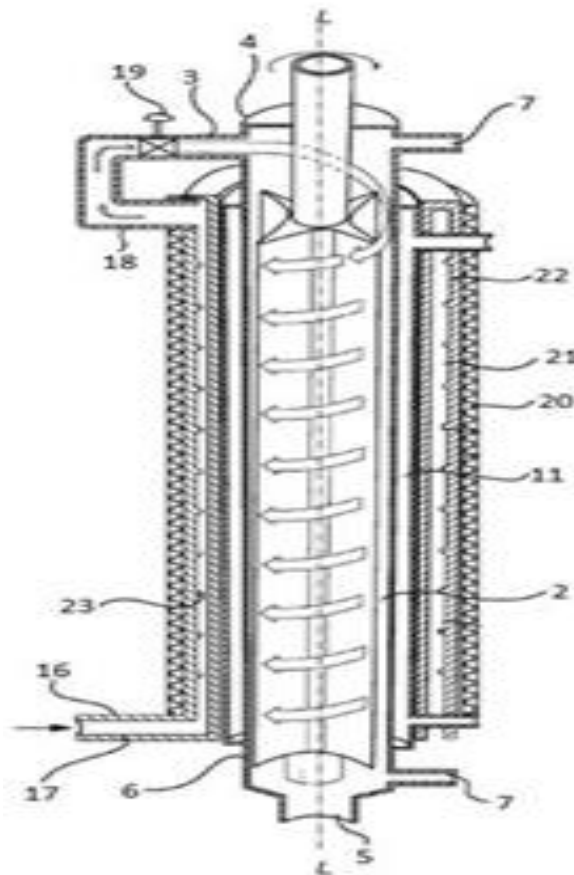
Корисна модель належить до теплообмінних апаратів з висхідною плівкою і може бути використана в харчовій, хімічній, нафтопереробній промисловості.

Випарний апарат (рисунок 3.10) містить барабан що включає патрубки для входу продукту зверху та виходу з протилежного боку, патрубків виходу пару.

Переваги: турбулізація фаз, безперервність роботи.

Недоліками є вузька спеціалізація даних апаратів, складність конструкції, наявність рухомих елементів, складність в очищенні. утворення плівки потребує постійних витрат розчину. Дана конструкція добре підходить для випаровування в'язких розчинів, оскільки має перемішуючий пристрій.

Головним недоліком апарата є періодичність дії, задля вивантаження очищеного розчину потрібно зупиняти процес.



1–випарний апарат; 2–барабан; 3–впускний отвір; 4–перша частина барабана; 5–випускний отвір; 6–друга частина барабану; 7–випуск пара; 8–мішалка; 9–лопаті; 10–труба; 11,12–оболонь; 13–грійний простір; 14–вихід гріючого розчину; 15–вхід гріючого розчину; 16,17– впускний отвір; 18–випускна частина; 19–клапан; 20–теплова ізоляція; 21–канал; 22–нагрівач; 23–труба подачі.

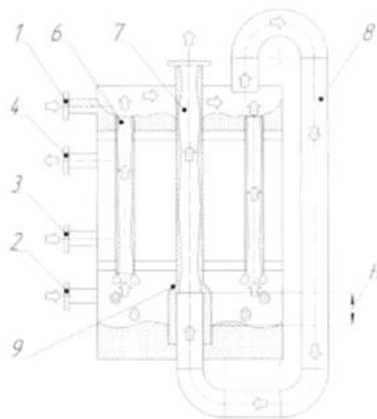
Рисунок 3.10 – Схема випарного апарата з висхідною плівкою

Плівковий випарний апарат [15].

Корисна модель плівкового випарного апарата належить до хімічної промисловості й може бути використана на об'єктах харчової, біотехнологічної, хімічної та фармацевтичної промисловості.

Випарний апарат (рисунок 3.11) складається із труб, у яких рухається повітря та розчин у вигляді плівки, штуцерів входу та виходу теплоносія, штуцер подачі повітря та виходу для його суміш, плівкоутворювачі.

Переваги: підвищенню теплопередачі між поверхнею фаз середовища за рахунок меншого об'єму трубного простору, а також одночасного зменшення їх діаметра для передачі теплообміну. Розчин поступово рухається трубами, де волога за рахунок масообміну переходить до повітря, і збільшується концентрація розчину.



1—штуцер введення розчинника; 2—штуцер подачі повітря; 3,4—штуцери для подачі та відводу теплоносія; 5—плівкоутворювач; 6—низхідні труби; 7—висхідні труби; 8—з'єднувальна труба; 9—плівкоутворювачі.

Рисунок 3.11 - Схема плівкового випарного апарата

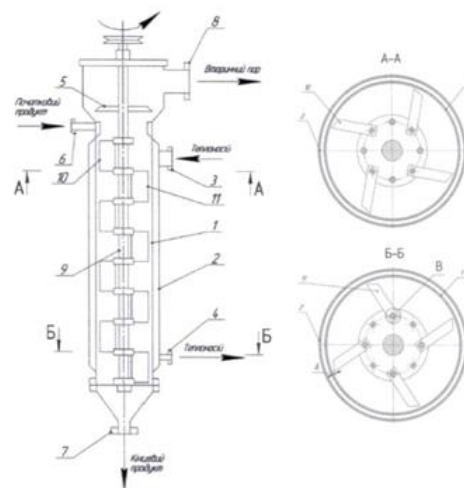
Недоліком є монолітність конструкції, як наслідок непридатність апарату до випаровування розчинів зі значною в'язкістю та неможливість механічної очистки поверхні теплообміну. Порівняно невисока продуктивність, та значна металоємність на одиницю поверхні теплообміну.

Випарний апарат [16].

Випарний апарат (рисунок 3.12) складається із вертикального циліндричного корпусу із штуцерами підведення і відведення нагрівального теплоносія та продукту, на якому розташована теплообмінна оболонка

Корисна модель належить до теплообмінного обладнання і може бути використана в харчовій, хімічній, нафтопереробній промисловості.

Переваги: широкий профіль використання апарату, безперервність роботи.



1 – нагрівальний корпус; 2 – обігрівача оболонь; 3 – штуцер введення теплоносія; 4 – штуцер виведення теплоносія; 5 – краплевідбійник; 6 – штуцер введення продукту; 7 – штуцер виведення продукту; 8 – штуцер виходу вторинної пари; 9 – ротор; 10 – шарнірно закріплені лопаті; 11 – жорстко закріплені лопаті.

Рисунок 3.12 – Схема випарного апарата

Недоліком даного апарата є наявність значної кількості рухомих елементів, які ускладнюють виготовлення, підвищують вартість апарату та ускладнюють подальше обслуговування.

Регламент патентного пошуку наведений в додатку В.

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
Змн.	Апк.	№ Дпк/ім.	Підпис	Дата		32

## 4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій

### 4.1 Параметричний розрахунок відпарної колони

Метою розрахунку є визначення основних геометричних розмірів ректифікаційної колони.

Розрахункову схему зображено на рисунку 4.1.

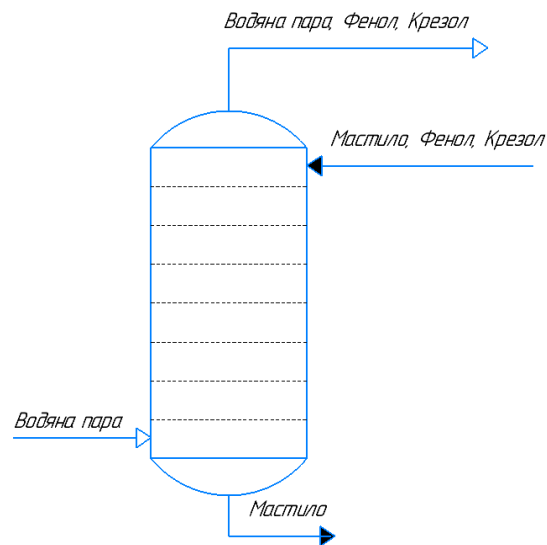


Рисунок 4.1 – Схема для розрахунку відпарної колони

Вихідні дані:

масова продуктивність колони за вихідною сумішшю  $G$ , кг/год: 10000;

масова доля фенолу та крезолу у початковій суміші  $c_1$ : 0,15;

молекулярна маса фенолу та крезолу в початковій суміші  $M_1$ : 100;

молекулярна маса фенолу та крезолу в кубовому залишку  $M_2$ : 620;

тиск в колоні  $p$ , МПа: 0,1;

температура в колоні  $T$ , °C: 150;

тип колони – тарілчаста;

тиск у колоні – атмосферний.

Розрахунок ведеться за методикою [17].

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Апк.	№ змін.	Підпис	Дата		



З рівняння матеріального балансу колони знаходимо кількість фенолу та крезолу, з урахування того, що мастило майже не летуче:

$$D = \frac{c_1 - x_R}{y_D - x_R} G = \frac{0,15 - 0,0005}{1 - 0,0005} \cdot 10000 = 1496 \text{ кг/год},$$

де  $x_R = 0,0005$  – концентрація крезолу та фенолу в залишку,  $y_D = 1$  – концентрація крезолу та фенолу в дистилаті.

Кількість мастила на виході з колони:

$$R = G - D = 10000 - 1496 = 8504 \text{ кг/год}.$$

Витрати водяної пари на відгонку фенолу та крезолу:

$$z = 0,02G = 0,02 \cdot 10000 = 200 \text{ кг/год}.$$

Перерахунок складу с масових частин в мольні:

$$x'_R = \frac{x_R M_2}{M_1} = \frac{0,0005 \cdot 620}{100} = 0,00031.$$

Тоді, парціальний тиск в нижній частині колони:

$$p_{12} = P_1 x'_R - P_2 (1 - x'_R) = 280,2 \cdot 10^3 \cdot 0,00031 - 0(1 - 0,00031) = 0,087 \cdot 10^3 \text{ Па},$$

де  $P_1 = 0,2 \text{ Па}$  – тиск насичених парів крезолу та фенолу, при температурі  $150^\circ \text{C}$ .

Тоді, парціальний тиск водяної пари:

$$p_z = p - p_{12} = 0,1 - 0,000087 = 0,0913 \text{ МПа} = 91300 \text{ Па}.$$

З рівняння Авогадро-Дальтона, кількість парів фенолу та крезолу:

$$V_R = \frac{z \cdot p_{12} \cdot M_1}{p_z \cdot 18} = \frac{200 \cdot 0,000087 \cdot 100}{0,0913 \cdot 18} = 1,057 \text{ кг/год}.$$

Кількість флегми, що стікає з нижньої тарілки:

$$g_1 = V_R + R = 1,057 + 8504 = 8505,057 \text{ кг/год}.$$

Склад флегми, з рівняння концентрацій:

$$x_1 = \frac{V_R \cdot y_R + R \cdot x_R}{g_1} = \frac{1,057 \cdot 1 + 8504 \cdot 0,0005}{8505,057} = 0,0006242,$$

де  $y_R = 1$  так, як мастило в будь-якому перерізі колони майже відсутнє.

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Апк.	№	Ппк/ім.	Підпис	Дата	

Мольний склад флегми:

$$x'_1 = \frac{1}{1 + \frac{M_1}{M_2} \cdot \left( \frac{1}{x_1} - 1 \right)} = \frac{1}{1 + \frac{100}{620} \cdot \left( \frac{1}{0,0006242} - 1 \right)} = 0,003858.$$

Ентальпія флегми:

$$q_1 = \frac{V_R \cdot Q_R + z \cdot (i_R - i_0) + R \cdot q_R}{g_1} = \frac{1,057 \cdot 505 + 200 \cdot (2753 - 2753) + 8504 \cdot 277}{8505,057} = 277,064 \text{ кДж/кг,}$$

де  $Q_R = 505$  кДж/кг – ентальпія парів фенолу та крезолу при температурі  $150^\circ\text{C}$ ,  $q_R = 277,027$  кДж/кг – ентальпія мастила при  $150^\circ\text{C}$ ,  $i_R = i_0 = 2753$  кДж/кг – ентальпія водяної пари при  $150^\circ\text{C}$ .

Наступне міжтарілкове відділення між першою та другою тарілками:

Парціальний тиск парів фенолу та крезолу, що випарувались з першої тарілки:

$$p_{12} = P_1 x'_1 = 280,2 \cdot 10^3 \cdot 0,003858 = 1081 \text{ Па,}$$

Парціальний тиск водяної пари:

$$p_z = p - p_{12} = 0,1 - 0,001081 = 0,0989 \text{ МПа} = 98900 \text{ Па.}$$

Кількість парів фенолу та крезолу:

$$V_1 = \frac{z \cdot p_{12} \cdot M_1}{p_z \cdot 18} = \frac{200 \cdot 0,001081 \cdot 100}{0,0989 \cdot 18} = 12,142 \text{ кг/год.}$$

Кількість флегми, що стікає з тарілки:

$$g_2 = V_1 + R = 12,142 + 8504 = 8516 \text{ кг/год.}$$

Склад флегми, з рівняння концентрацій:

$$x_2 = \frac{V_1 \cdot y_R + R \cdot x_R}{g_2} = \frac{12,142 \cdot 1 + 8504 \cdot 0,0005}{8516} = 0,001925,$$

Мольний склад флегми:

$$x'_2 = \frac{1}{1 + \frac{M_1}{M_2} \cdot \left( \frac{1}{x_2} - 1 \right)} = \frac{1}{1 + \frac{100}{620} \cdot \left( \frac{1}{0,001925} - 1 \right)} = 0,012.$$

Ентальпія флегми:

$$q_2 = \frac{V_1 \cdot Q_R + R \cdot q_R}{g_2} = \frac{12,142 \cdot 505 + 8504 \cdot 277}{8516} = 277,352 \text{ кДж/кг.}$$

Наступне міжтарілкове відділення між другою та третьою тарілками:

Парціальний тиск парів фенолу та крезолу, що випарувались з другої тарілки:

$$p_{12} = P_1 x'_2 = 280,2 \cdot 10^3 \cdot 0,012 = 3311 \text{ Па,}$$

Парціальний тиск водяної пари:

$$p_z = p - p_{12} = 0,1 - 0,003311 = 0,09669 \text{ МПа}$$

Кількість парів фенолу та крезолу:

$$V_2 = \frac{z \cdot p_{12} \cdot M_1}{p_z \cdot 18} = \frac{200 \cdot 0,003311 \cdot 100}{0,09669 \cdot 18} = 38,049 \text{ кг/год.}$$

Кількість флегми, що стікає з тарілки:

$$g_3 = V_2 + R = 38,049 + 8504 = 8542 \text{ кг/год.}$$

Склад флегми, з рівняння концентрацій:

$$x_3 = \frac{V_2 \cdot y_R + R \cdot x_R}{g_3} = \frac{38,049 \cdot 1 + 8504 \cdot 0,0005}{8542} = 0,004952,$$

Мольний склад флегми:

$$x'_3 = \frac{1}{1 + \frac{M_1}{M_2} \cdot \left( \frac{1}{x_3} - 1 \right)} = \frac{1}{1 + \frac{100}{620} \cdot \left( \frac{1}{0,004952} - 1 \right)} = 0,03 \cdot$$

Ентальпія флегми:

$$q_3 = \frac{V_2 \cdot Q_R + R \cdot q_R}{g_3} = \frac{38,049 \cdot 505 + 8504 \cdot 277}{8542} = 278,043 \text{ кДж/кг.}$$

Наступне міжтарілкове відділення між третьою та четвертою тарілками:

Парціальний тиск парів фенолу та крезолу, що випарувались з третьої тарілки:

$$p_{12} = P_1 x'_3 = 280,2 \cdot 10^3 \cdot 0,03 = 8387 \text{ Па,}$$

Парціальний тиск водяної пари:

$$p_z = p - p_{12} = 0,1 - 0,008387 = 0,09161 \text{ МПа}$$

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Алк.	№	Плнкім.	Підпис	Дата	

Кількість парів фенолу та крезолу:

$$V_3 = \frac{z \cdot p_{12} \cdot M_1}{p_z \cdot 18} = \frac{200 \cdot 0,008387 \cdot 100}{0,09161 \cdot 18} = 101,717 \text{ кг/год.}$$

Кількість флегми, що стікає з тарілки:

$$g_4 = V_3 + R = 101,717 + 8504 = 8606 \text{ кг/год.}$$

Склад флегми, з рівняння концентрацій:

$$x_4 = \frac{V_3 \cdot y_R + R \cdot x_R}{g_4} = \frac{101,717 \cdot 1 + 8504 \cdot 0,0005}{8606} = 0,012,$$

Мольний склад флегми:

$$x'_4 = \frac{1}{1 + \frac{M_1}{M_2} \cdot \left( \frac{1}{x_4} - 1 \right)} = \frac{1}{1 + \frac{100}{620} \cdot \left( \frac{1}{0,012} - 1 \right)} = 0,072.$$

Ентальпія флегми:

$$q_4 = \frac{V_3 \cdot Q_R + R \cdot q_R}{g_4} = \frac{101,717 \cdot 505 + 8504 \cdot 277}{8606} = 279,722 \text{ кДж/кг.}$$

Наступне міжтарілкове відділення між четвертою та п'ятою тарілками:

Парціальний тиск парів фенолу та крезолу, що випарувались з четвертої тарілки:

$$p_{12} = P_1 x'_4 = 280,2 \cdot 10^3 \cdot 0,072 = 20240 \text{ Па,}$$

Парціальний тиск водяної пари:

$$p_z = p - p_{12} = 0,1 - 0,02024 = 0,07976 \text{ МПа}$$

Кількість парів фенолу та крезолу:

$$V_4 = \frac{z \cdot p_{12} \cdot M_1}{p_z \cdot 18} = \frac{200 \cdot 0,02024 \cdot 100}{0,07976 \cdot 18} = 282,043 \text{ кг/год.}$$

Кількість флегми, що стікає з тарілки:

$$g_5 = V_4 + R = 282,043 + 8504 = 8786 \text{ кг/год.}$$

Склад флегми, з рівняння концентрацій:

$$x_5 = \frac{V_4 \cdot y_R + R \cdot x_R}{g_5} = \frac{282,043 \cdot 1 + 8504 \cdot 0,0005}{8786} = 0,033,$$

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арх.
Змн	Апк	№ Інвент.	Підпис	Дата		37

Мольний склад флегми:

$$x'_5 = \frac{1}{1 + \frac{M_1}{M_2} \cdot \left( \frac{1}{x_5} - 1 \right)} = \frac{1}{1 + \frac{100}{620} \cdot \left( \frac{1}{0,033} - 1 \right)} = 0,176 \cdot$$

Ентальпія флегми:

$$q_5 = \frac{V_4 \cdot Q_R + R \cdot q_R}{g_5} = \frac{282,043 \cdot 505 + 8504 \cdot 277}{8786} = 284,345 \text{ кДж/кг.}$$

Наступне міжтарілкове відділення:

Парціальний тиск парів фенолу та крезолу, що випарувались з п'ятої тарілки:

$$p_{12} = P_1 x'_5 = 280,2 \cdot 10^3 \cdot 0,176 = 49270 \text{ Па,}$$

Парціальний тиск водяної пари:

$$p_z = p - p_{12} = 0,1 - 0,04927 = 0,05073 \text{ МПа}$$

Кількість парів фенолу та крезолу:

$$V_5 = \frac{z \cdot p_{12} \cdot M_1}{p_z \cdot 18} = \frac{200 \cdot 0,04927 \cdot 100}{0,05073 \cdot 18} = 1079 \text{ кг/год.}$$

Кількість флегми, що стікає з тарілки:

$$g_6 = V_5 + R = 1079 + 8504 = 9583 \text{ кг/год.}$$

Склад флегми, з рівняння концентрацій:

$$x_6 = \frac{V_5 \cdot y_R + R \cdot x_R}{g_6} = \frac{1079 \cdot 1 + 8504 \cdot 0,0005}{9583} = 0,113,$$

Мольний склад флегми:

$$x'_6 = \frac{1}{1 + \frac{M_1}{M_2} \cdot \left( \frac{1}{x_6} - 1 \right)} = \frac{1}{1 + \frac{100}{620} \cdot \left( \frac{1}{0,113} - 1 \right)} = 0,441 \cdot$$

Ентальпія флегми:

$$q_6 = \frac{V_5 \cdot Q_R + R \cdot q_R}{g_6} = \frac{1079 \cdot 505 + 8504 \cdot 277}{9583} = 302,698 \text{ кДж/кг.}$$

Діаметр колони:

$$D_B = \sqrt{\frac{z}{0,785 \cdot u}},$$

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
Змн.	Алк.	№ ппклім.	Підпис	Дата		38

де  $u$  – допустима швидкість пари,

$$u = 0,305 \cdot c \cdot \sqrt{\rho_{\Pi}(\rho_{\text{ж}} - \rho_{\Pi})},$$

де  $c$  – коефіцієнт який залежить від кількості тарілок,

$$\rho_{\Pi} = \frac{M \cdot 273}{22,4 \cdot T},$$

$$M = \frac{G + z}{\frac{0,5G}{M_{\phi}} + \frac{0,5G}{M_K} + \frac{z}{18}} = \frac{10000 + 200}{\frac{0,5 \cdot 10000}{94} + \frac{0,5 \cdot 10000}{108} + \frac{200}{18}} = 92,225,$$

де  $M_{\phi} = 94$  – молекулярна маса фенола,  $M_K = 108$  – молекулярна маса крезолу.

$$\rho_{\Pi} = \frac{M \cdot 273}{22,4 \cdot T} = \frac{92,225 \cdot 273}{22,4 \cdot (150 + 273)} = 2,657 \text{ кг/м}^3,$$

$$\rho_{\text{ж}} = 819 \text{ кг/м}^3 - \text{густина мастила, тоді}$$

Швидкість пари:

$$u = 0,305 \cdot 50 \cdot \sqrt{\rho_{\Pi}(\rho_{\text{ж}} - \rho_{\Pi})} = 0,305 \cdot 50 \cdot \sqrt{2,657(819 - 2,657)} = 710,235 \text{ м/год.}$$

Тоді

$$D_B = \sqrt{\frac{z}{0,785 \cdot u}} = \sqrt{\frac{200}{0,785 \cdot 710}} = 0,599 \text{ м,}$$

Приймаємо внутрішній діаметр 600 мм.

Приймаємо ККД тарілки 60%, тоді кількість необхідних тарілок:

$$N_p = \frac{N_T}{\eta} = \frac{5}{0,6} = 8,$$

Висота яку займають тарілки:

$$h_0 = (N_p - 1)h_T = (8 - 1) \cdot 0,3 = 2,1 \text{ м,}$$

де  $h_T = 0,3$  м – відстань між тарілками.

Висота нижньої частини колони:

$$h_R = \frac{R \cdot 7 \cdot 4}{60 \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot \pi \cdot D^2} = \frac{8504 \cdot 7 \cdot 4}{60 \cdot 819 \cdot 3,14 \cdot 0,6^2} = 2,572 \text{ м,}$$

Приймаємо висоту нижньої колони 2,6 м.

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арх.
Змн	Апк	№ ппк/ім	Підпис	Дата		39

Висота верхньої частини колони  $h_D = 1,5$  м, тоді загальна висота колони:

$$H = h_D + h_0 + h_R = 1,5 + 2,1 + 2,6 = 6,2 \text{ м.}$$

Витрати водяної пари для відпарювання фенолу та крезолу, знаходимо з матеріального балансу:  $G_{\text{фенолу+крезолу}} \cdot r_{\text{фенолу+крезолу}} = G_{\text{водяної пари}} \cdot r_{\text{водяної пари}}$ ,

тоді,

$$G_{\text{водяної пари}} = \frac{D \cdot r_{\text{фенолу+крезолу}}}{r_{\text{водяної пари}}} = \frac{1496 \cdot 2300}{2200} = 1564 \text{ кг/год},$$

де  $r_{\text{фенолу+крезолу}} = 2300$  кДж/кг – питома теплоємність суміші фенолу та крезолу при  $150^\circ\text{C}$ ;

$r_{\text{водяної пари}} = 2200$  кДж/кг – питома теплоємність водяної пари при  $150^\circ\text{C}$ ;

Висновки: за результатами розрахунків отримано діаметр 0,6 м, висоту колони 6,2 м, кількість тарілок 8 шт, кількість флегми 9583 кг/год, що стікає з останньої тарілки.

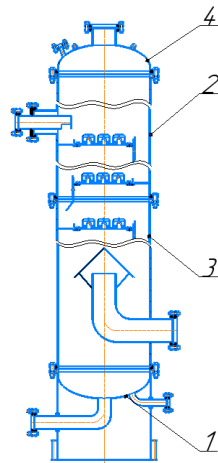
### Обґрунтування модернізації відпарної колони

В основу корисної моделі поставлено задачу підвищення інтенсифікації процесу масообміну, шляхом встановлення подвійних ковпачків, для рівномірного розподілу рідини по об'єму масообмінної тарілки, запобігання утворенню пристінного ефекту рідиною, та можливість регулювання поверхні контакту фаз, тобто ККД тарілки, без зменшення продуктивності колони (рисунок 4.1).

Поставлена задача вирішується тим, що у ректифікаційній колоні на масообмінній тарілці встановлюються подвійні ковпачки, причому внутрішній ковпачок закріплено нерухомо, а зовнішній ковпачок може вільно переміщуватись вздовж осі їх кріплення, а отвори у верхній частині ковпачків виконано не співвісно. Загальний вид ковпачку зображено на рисунку 4.2.

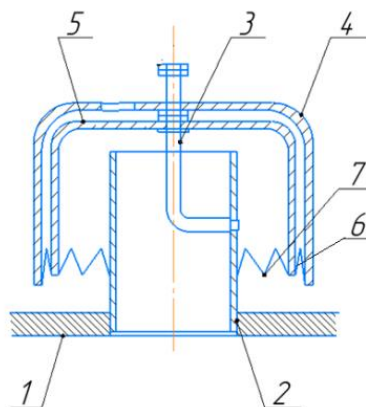
					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Апк.	№	Ппкпм.	Підпис	Дата	

Для підтвердження доцільності модернізації, було проведено моделювання процесу розподілу парової фази у рідині. Результати моделювання зображені на рисунках 4.2а, 4.2б та 4.2в.



1 – опора; 2, 3 – корпус; 4 – кришка.

Рисунок 4.1 - Загальний вигляд апарату



1 – тарілка; 2 – патрубок; 3 – вісь; 4 – зовнішній ковпачок; 5 – внутрішній ковпачок; 6, 7 – прорізи.

Рисунок 4.2 – Загальний вигляд ковпачку

Для моделювання використано програмне забезпечення SolidWorks, з наступними вихідними даними: швидкість парової фази 1м/с; діаметр внутрішнього ковпачку 70мм; діаметр зовнішнього ковпачку 80мм; найбільше положення ковпачку по відношенню до тарілки 60мм; температуру стінки обичайки прийнято рівною температурі навколишнього середовища 20°C, отвори на ковпачках неспіввісні, на внутрішньому ковпачку дорівнюють 8мм.



Варіант 1. – На зовнішньому ковпачку отвори відсутні;

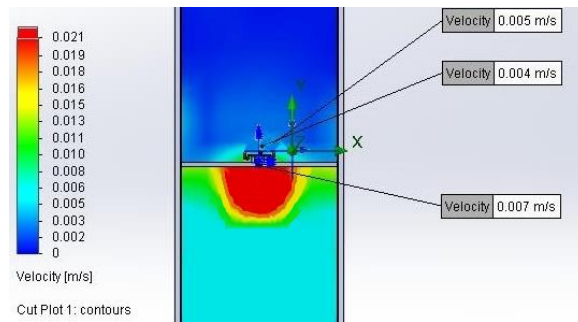


Рисунок 4.2а – Результат першого моделювання

Варіант 2. – Діаметри отворів на зовнішньому ковпачку дорівнюють 10мм, кількість отворів 4;

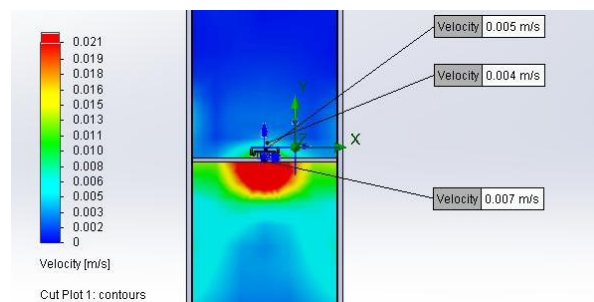


Рисунок 4.2б – Результат другого моделювання

Варіант 3. – діаметри отворів на зовнішньому ковпачку дорівнюють 5мм, кількість отворів 8.

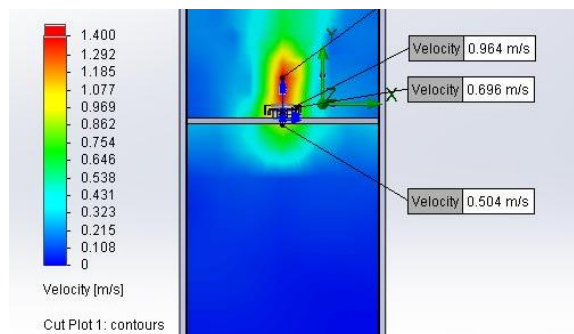


Рисунок 4.2в – Результат третього моделювання

За результатами моделювання отримали графік (рисунок 4.3).

Після моделювання було встановлено, що для підвищення продуктивності на кожному зовнішньому ковпачку доцільно збільшити кількість отворів зі зменшенням діаметру кожного отвору для проходження парової фази, при цьому без збільшення габаритного розміру ковпачку отримати найбільший контакт поверхні фаз на поверхні тарілок по висоті

КОЛОНИ.

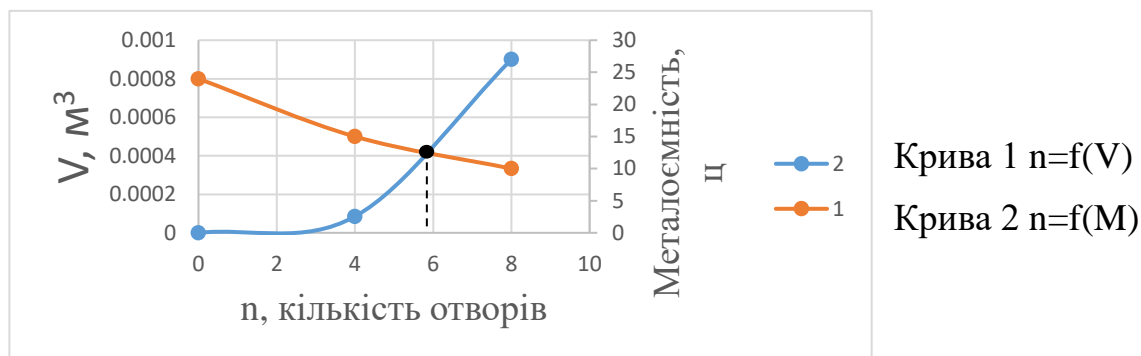


Рисунок 4.3 – Графік залежності кількості отворів на поверхні ковпачка до об'єму парової фази на поверхні та металоємкості

Висновок: запропонована фізична модель дозволяє визначити мінімальний діаметр отворів на поверхні ковпачків, за яких буде найбільший контакт фаз на поверхні тарілок, та визначити необхідну кількість та діаметр отворів на поверхні ковпачка, при якому буде найбільший контакт поверхні .

## 4.2 Розрахунок технологічних штуцерів апарату

Метою розрахунку є визначення діаметрів штуцерів ректифікаційної колони, для введення та виведення рідкої та газоподібної фази.

Розрахункова схема штуцера зображена на рисунку 4.2.

Вихідні дані до розрахунку:

Видаток пари  $G_n$ , кг/с

у верхній частині колони 0,471;

у нижній частині колони 0,434;

Рекомендована швидкість пари  $W_n$ , м/с 15;

Густина пари  $\rho_n$ , кг/м³ 387,9;

Видаток рідини  $G_p$ , кг/с

у верхній частині колони 2,7778;

у нижній частині колони 2,3622;

Рекомендована швидкість рідкої фази  $W_p$ , м/с

3;

Середня густина рідини  $\rho_p$ , кг/м<sup>3</sup>

2.547.

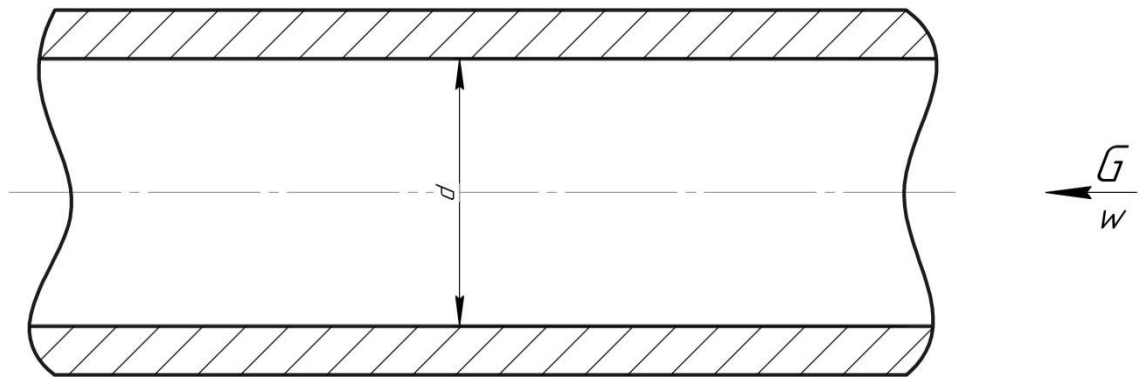


Рисунок 4.2 – Розрахункова схема штуцера

Розрахунок здійснюється за методикою [17].

Визначення діаметра штуцера для входу вихідної суміші:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4G_{p1}}{\pi\rho_p W_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,7778}{3,14 \cdot 2,547 \cdot 3}} = 0,055 \text{ м.}$$

Приймаємо розрахунковий діаметр штуцера за [18]:  $d_1 = 80$  мм.

Визначення діаметра штуцера для виходу парів дистилляту:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4G_{n1}}{\pi\rho_n W_n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,471}{3,14 \cdot 387,9 \cdot 15}} = 0,125 \text{ м.}$$

Приймаємо розрахунковий діаметр штуцера за [18]:  $d_2 = 150$  мм.

Визначення діаметра штуцера для виходу кубової рідини:

$$d_3 = \sqrt{\frac{4G_{p2}}{\pi\rho_p W_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,3622}{3,14 \cdot 2,547 \cdot 3}} = 0,051 \text{ м.}$$

Приймаємо розрахунковий діаметр штуцера за [18]:  $d_3 = 300$  мм.

Визначення діаметра штуцера для входу парів:

$$d_4 = \sqrt{\frac{4G_{n2}}{\pi\rho_n W_n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,434}{3,14 \cdot 387,9 \cdot 15}} = 0,051 \text{ м.}$$

Приймаємо розрахунковий діаметр штуцера за [18]:  $d_5 = 40$  мм.

Висновок: за розрахунками було підібрано діаметри штуцерів, які забезпечать необхідні швидкості руху теплоносіїв.

### 4.3 Розрахунок еліптичної кришки

Мета розрахунку: визначити товщину стінки кришки апарату.

Вихідні дані:

робочий тиск,  $P_R$ , МПа 1,1064;

матеріал 08X18H10T;

допустиме навантаження,  $[\sigma]$ , МПа 140;

коефіцієнт міцності зварного шва,  $\varphi$  0,9;

діаметр обичайки, м 0,6;

Сума всіх додатків до розрахункових товщин стінок, м 0,0016.

Розрахункова схема кришки наведена на рисунку 4.3.

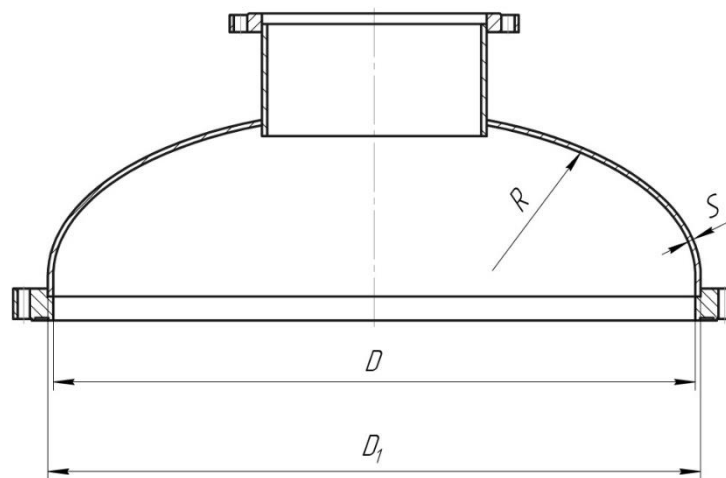


Рисунок 4.3 – Розрахункова схема еліптичної кришки

Розрахункова стінка:

$$S_R = \frac{P_R \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P_R} = \frac{1,1064 \cdot 10^6 \cdot 0,6}{2 \cdot 140 \cdot 10^6 \cdot 0,9 - 1,1064 \cdot 10^6} = 0,002631 \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки:

$$S = S_R + c = 0,002631 + 0,0016 = 0,004131 \text{ м.}$$

Приймаємо товщину стінки 6 мм.

Товщину кришки приймаємо  $s = 6$  мм. Обчислюємо висоту еліптичної частини кришки та радіус:

$$H = 0,25 \cdot D = 0,25 \cdot 0,6 = 0,15 \text{ м}$$

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = \frac{0,6^2}{4 \cdot 0,15} = 0,6 \text{ м}$$

В зв'язку з тим, що ми обрали еліптичну кришку, її обов'язково необхідно виконувати з відбортовкою. Параметри кришки вибираємо згідно стандартів.

Виконуємо перевірку на допустимий тиск:

$$[p] = \frac{2 \cdot (S - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi}{R + 0,5 \cdot (S - c)} = \frac{2 \cdot (0,006 - 0,0016) \cdot 140 \cdot 10^6 \cdot 0,9}{0,6 + 0,5 \cdot (0,006 - 0,0016)} = 1,883 \cdot 10^6 \text{ МПа}$$

де  $s$  – виконавча товщина еліптичної кришки;  $R$  - радіус кривизни в вершині кришки.

$$p \leq p ,$$

$$1,1064 \text{ МПа} \leq 1,883 \text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується.

Приймаємо товщину стінки  $s = 6$  мм.

Висновок: під час розрахунку знайшли товщину стінки, що дорівнює 6 мм; перевірили виконання умови міцності.

#### 4.4 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки під дією внутрішнього надлишкового тиску

Метою розрахунку є визначення товщини стінки циліндричної обичайки.

Розрахункова схема обичайки наведена на рисунку 4.4.

Вихідні дані:

Діаметр апарата, м,  $D$  0,6;

Матеріал 08X18H10T;

Температура робочого середовища  $t$ , °C 122,5;

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
Змн	Арк	№ аркуш	Підпис	Дата		

Допустиме напруження, МПа, $[\sigma]$	140;
Розрахунковий тиск, МПа, $p_R$	1,1064;
Коефіцієнт міцності зварного шва, $\varphi$	0,9;
Проникненість, м/рік, $\Pi$	0,0005;
Термін служби апарату, років, $T$	10.

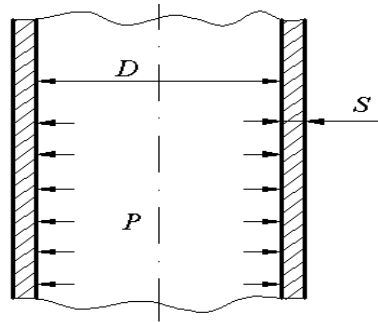


Рисунок 4.4 - Розрахункова схема циліндричної обичайки

Розрахунок ведеться за авторами [19].

Визначаємо розрахункову товщину стінки циліндричної обичайки за безмоментною теорією:

$$S_R = \frac{P_R \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P_R} = \frac{1,1064 \cdot 10^6 \cdot 0,6}{2 \cdot 140 \cdot 10^6 \cdot 0,9 - 1,1064 \cdot 10^6} = 0,002631 \text{ м}$$

Додаток до розрахункової товщини стінки:

$$C = \Pi T + c_2 + c_3 = 0,0005 \cdot 10 + 0,0006 + 0 = 0,0056$$

де  $C_2$  - додаток до розрахункової товщини, який враховує від'ємний допуск,  $C_2 = 0,0006$  м;

$C_3$  - технологічний додаток до розрахункової товщини, що враховує можливе утоншення листа металу,  $C_3 = 0$  м.

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки:

$$S = 0,002631 + 0,0056 = 0,008231 \text{ м}$$

З конструктивних міркувань приймаємо  $S = 0,010$  м.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (S - C)}{D + S - C} = \frac{2 \cdot 140 \cdot 0,9 \cdot (0,01 - 0,0056)}{0,8 + 0,01 - 0,0056} = 3,109 \text{ МПа}$$

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арх.
Змн	Апк	№ ппк/ім	Підпис	Дата		47

Перевіряємо умову міцності:

$$p_R \leq [p], [\text{МПа}]$$

$$1,1064 \text{ МПа} \leq 3,109 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується.

Висновок: для колони визначена товщина стінки циліндричної обичайки приймається  $S = 0,01$  м забезпечує міцність апарата в умовах робочих навантажень.

#### 4.5 Розрахунок фланцевого з'єднання

Метою проведення розрахунків фланцевого з'єднання є визначення навантажень на кріпильні деталі, обчислення напружень у кріпильних деталях і порівняння їх з допустимими, знаходження напруження в найбільш небезпечних перерізах фланців та порівняння їх з допустимими та перевірка фланців на жорсткість за умовою герметичності. На рисунку 4.5 представлена схем фланцевого з'єднання.

Вихідні данні до розрахунку:

внутрішній діаметр $D$ , м	0,6;
зовнішній діаметр $D_{\text{ф}}$ , м	0,72;
діаметр болтового кола $D_{\text{б}}$ , м	0,68;
товщина фланця $h_{\text{ф}}$ , м	0,025;
зовнішній діаметр прокладки $D_{\text{п}}$ , м	0,642;
ширина прокладки $b$ , м	0,025;
товщина прокладки $h$ , м	0,002;
матеріал прокладки	пароніт, ГОСТ 481-80;
коефіцієнт $m$	2,5;
мінімальне питоме навантаження $q$ , МПа	20;
матеріал фланців	08X18H10T, ГОСТ5582-75;
межа текучості $\sigma_{\text{тф}}^{20}$ , МПа	253;

межа текучості $\sigma_{\text{тф}}^t$ , МПа	196;
допустиме напруження $[\sigma]_{\text{тф}}^{20}$ , МПа	140;
допустиме напруження $[\sigma]_{\text{тф}}^t$ , МПа	130;
модуль пружності $E$ , МПа	$1,96 \cdot 10^5$ ;
коефіцієнт відносного лінійного розширення $\alpha_{\text{ф}}^t$ , $\text{K}^{-1}$	$12,6 \cdot 10^{-6}$ ;
внутрішній тиск $p$ , МПа	0,2345;
кількість болтів $z^b$ , шт	88;
діаметр різьби болтів	M24;
внутрішній діаметр $d_0$ , м	0,021;
матеріал болтів	сталь 3, ГОСТ 380-94;
допустиме напруження $[\sigma]_b^{20}$ , МПа	230;
допустиме напруження $[\sigma]_b^t$ , МПа	223;
модуль пружності $E$ , МПа	$1,93 \cdot 10^5$ ;
коефіцієнт відносного лінійного розширення $\alpha_{\text{ф}}^t$ , $\text{K}^{-1}$	$12,6 \cdot 10^{-6}$ .

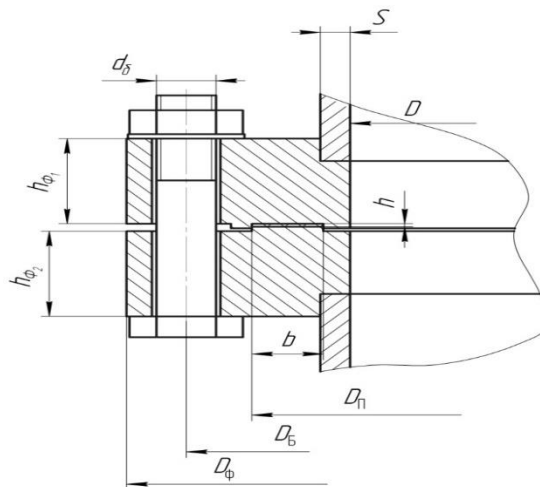


Рисунок 4.5 – Схема фланцевого з'єднання

Розрахунок ведемо по методиці, приведений в [20].

Середній діаметр прокладки:

$$D_{\text{СП}} = D_{\Pi} - b, \text{ м.} \quad (4.1)$$

Ефективна ширина прокладки:

$$\text{при } b \geq 0,015 \text{ м, } b_E = 0,5 \cdot b, \text{ м.} \quad (4.2)$$



Конструктивний коефіцієнт для фланця

$$K_{\Phi} = \frac{D_{\Phi}}{D}. \quad (4.3)$$

Конструктивні коефіцієнти для фланців:

$$\lambda_{\Phi 1} = \lambda_{\Phi 2} = \frac{h_{\Phi 1}}{\sqrt{D \cdot s}}. \quad (4.4)$$

Поправочний коефіцієнт для фланців:

$$\psi_{1\Phi} = 1,28 \cdot \lg K_{\Phi} \quad (4.5)$$

Поправочний коефіцієнт для фланців:

$$\Psi_{2\Phi} = \frac{(K_{\Phi} + 1)}{(K_{\Phi} - 1)} \quad (4.6)$$

Геометричні параметри фланців:

$$j_{\Phi 1} = j_{\Phi 2} = \frac{h_{\Phi 1}}{s} \quad (4.7)$$

Безрозмірний параметр фланців:

$$T_{\Phi} = \frac{K_{\Phi}^2 (1 + 8,55 \lg K_{\Phi}) - 1}{(1,05 + 1,945 K_{\Phi}^2) \cdot (K_{\Phi} - 1)}. \quad (4.8)$$

Безрозмірні параметри фланців

$$\omega_{\Phi 1} = \omega_{\Phi 2} = \left[ 1 + 0,9 \cdot \lambda_{\Phi 1} \left( 1 + \psi_{1\Phi} \cdot j_{\Phi 1}^2 \right) \right]^{-1} \quad (4.9)$$

Кутова піддатливість фланців:

$$y_{\Phi 1} = y_{\Phi 2} = \frac{\left[ 1 - \omega_{\Phi 1} \cdot \left( 1 + 0,9 \cdot \lambda_{\Phi 1} \right) \right] \cdot \psi_{\Phi 2}}{h_{\Phi 1}^3 \cdot E_{\Phi 1}} \quad (4.10)$$

Розрахункова довжина болтів фланцевого з'єднання:

$$L_{\text{б}} = h_{\Phi 1} + h_{\Phi 2} + h + 0,28d_{\text{б}}, \text{ м.} \quad (4.11)$$

Лінійна піддатливість металевої прокладки:

$$y_{\Pi} = 0.$$

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
Змн	Алк	№ змін	Підпис	Дата		50

Площа поперечного перерізу болта:

$$f_b = 0,75 \cdot d_b^2, \text{ м}^2. \quad (4.12)$$

Лінійна піддатливість болтів:

$$y_b = \frac{L_b}{E_b \cdot f_b \cdot Z_b}, \text{ м/Н}. \quad (4.13)$$

Параметр жорсткості фланцевого з'єднання:

$$A_\phi = \left[ y_\Pi + y_b + 0,25 \cdot (y_{\phi 1} + y_{\phi 2}) \cdot (D_b - D_{\text{СП}})^2 \right]^{-1}, \text{ м} \quad (4.14)$$

Параметр жорсткості фланця:

$$B_{\phi 1} = B_{\phi 2} = y_{\phi 1} \cdot (D_b - D - S), \text{ 1/Н}. \quad (4.15)$$

Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання

$$\gamma = A_\phi \cdot y_b. \quad (4.16)$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\alpha_\phi = A_\phi \cdot [y_b + 0,25 \cdot (B_{\phi 1} + B_{\phi 2}) \cdot (D_b - D_{\text{СП}})] \quad (4.17)$$

Для розрахунку болтів фланцевого з'єднання визначимо болтове навантаження. Рівнодіюча внутрішнього тиску:

$$Q_g = 0,785 \cdot D_{\text{СП}}^2 \cdot p, \text{ Н}. \quad (4.18)$$

Реакція прокладок в робочих умовах:

$$R_\Pi = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{СП}} \cdot e_E \cdot m \cdot p, \text{ Н}. \quad (4.19)$$

Зусилля, що виникає від температурної деформації фланцевого з'єднання:

$$Q_{\text{тф}} = \gamma \cdot Z_b \cdot f_b \cdot E_b \cdot (\alpha_\phi^t \cdot t_\phi - \alpha_b^t \cdot t_b) \quad (4.20)$$

$$\text{де } \alpha_\phi^t = \frac{(\alpha_{\phi 1}^t + \alpha_{\phi 2}^t)}{2}, \text{ К}^{-1}.$$

Монтажні болтові навантаження фланцевого з'єднання за різних умов розрахунку:

$$P'_{b1} = \pi \cdot D_{\text{СП}} \cdot b_E \cdot q, \text{ Н}. \quad (4.21)$$

$$P_{Б1}'' = \alpha_{\phi} \cdot (Q_g \pm p) + R_{\Pi} + \frac{4M}{D_{\text{СП}}}, \text{ Н.} \quad (4.22)$$

$$P_{Б1}''' = 0,4 \cdot [\sigma_{Б}]^{20} \cdot Z_{Б} \cdot f_{Б}, \text{ Н.} \quad (4.23)$$

Розрахункове монтажне болтове навантаження:

$$P_{Б1} = \max \{ P_{Б1}'''; P_{Б1}'' \}, \text{ Н.} \quad (4.24)$$

Умова міцності прокладки:

$$\frac{P_{Б1}}{\pi \cdot D_{\text{СП}} \cdot b} \leq [q], \quad (4.25)$$

Умова міцності виконується.

Болтове навантаження за робочих умов:

$$P_{Б2} = P_{Б1} + 1 - \alpha_{\phi} \cdot Q_g \pm P + Q_{\text{тф}}, \text{ Н.} \quad (4.26)$$

Розрахункове навантаження на болти:

$$P_{Б\phi} = \max \{ P_{Б1}; P_{Б2} \}, \text{ Па.} \quad (4.27)$$

Напруження розтягання болтів за робочих умов:

$$\sigma_{Б}^{20} = \frac{P_{Б1}}{Z_{Б} \cdot f_{Б}}, \text{ Па.} \quad (4.28)$$

Напруження розтягання болтів за умов монтажу:

$$\sigma_{Б}^t = \frac{P_{Б2}}{Z_{Б} \cdot f_{Б}}, \text{ Па.} \quad (4.29)$$

Крутний момент, що виникає від розтягування гайок:

$$M_{\text{СКР}} = f_1 \cdot \frac{P_{Б\phi}}{Z_{Б}} \cdot d_{Б}, \text{ Н·м.} \quad (4.30)$$

Дотичне напруження в болтах:

$$\tau_{Б} = \frac{M_{\text{СКР}}}{0,2 \cdot d^3}, \text{ Па.} \quad (4.31)$$

Еквівалентне напруження в болтах:

$$\sigma_{БЕ}^{20} = \sqrt{(\sigma_{Б}^{20})^2 + 3 \cdot \tau_{Б}^2}, \text{ Па;} \quad (4.32)$$

$$\sigma_{BE}^t = \sqrt{(\sigma_B^t)^2 + 3 \cdot \tau_B^2} \quad , \text{Па.} \quad (4.33)$$

Умови міцності:

$$\sigma_{BE}^{20} \leq [\sigma_B]^{20} ; \quad (4.34)$$

$$\sigma_{BE}^t \leq [\sigma_B]^t ; \quad (4.35)$$

Умови міцності виконуються.

Для розрахунку фланців на міцність визначимо еквівалентні напруження.

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланця за умов монтажу:

$$M_{01\phi} = 0,5 P_{B1} \cdot D_B - D_{СП} \quad , \text{Н}\cdot\text{м.} \quad (4.36)$$

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланця за робочих умов:

$$M_{02\phi} = 0,5 \cdot [P_{B2} \cdot (D_B - D_{СП}) + Q_g \cdot (D_{СП} - D - S)] \cdot \frac{[\sigma_\phi]^{20}}{[\sigma_\phi]^t} \quad (4.37)$$

Розрахунковий приведенний згинаючий момент у діаметральному перерізі фланця:

$$M_{0\phi} = \max\{M_{01}; M_{02}\} \quad \text{Н}\cdot\text{м.} \quad (4.38)$$

Розрахунковий діаметр:

$$D^* = D = 0,8 \text{ м.}$$

Максимальні напруження в перерізах  $S_0$  фланців від дії згинаючого моменту  $M_0$ :

$$\sigma_{1\phi1} = \sigma_{1\phi2} = \frac{T_\phi \cdot M_{0\phi} \cdot \omega_{\phi1}}{D^* \cdot (s - c)^2} \quad , \text{Па.} \quad (4.39)$$

Напруження в перерізі  $S_0$  фланців від дії згинаючого моменту  $M_0$ :

$$\sigma_{0\phi1} = \sigma_{0\phi2} = \Psi_{3\phi} \cdot \sigma_{1\phi1} \quad , \text{Па.} \quad (4.40)$$

Кільцеве напруження в дисках фланців від згинаючого моменту  $M_0$ :

$$\sigma_{\text{кф1}} = \sigma_{\text{кф2}} = \frac{M_{\text{оф}} \cdot [1 - \omega_{\text{ф1}} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\text{ф1}})] \cdot \Psi_{2\text{ф}}}{D \cdot h_{\text{ф1}}^2} \quad (4.41)$$

Еквівалентні напруження в перерізі  $S_1$  фланців:

$$\sigma_{\text{Еф1}}^{S1} = \sigma_{\text{Еф2}}^{S1} = \sqrt{\sigma_{\text{лф1}}^2 + \sigma_{\text{кф1}}^2 - \sigma_{\text{лф1}} \cdot \sigma_{\text{кф1}}}, \text{Па} \quad (4.42)$$

Кільцеві та меридіальні напруження у втулці фланців від дії внутрішнього тиску:

$$\sigma_{\text{хф1}} = \sigma_{\text{хф2}} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (s_o - e)}, \text{Па}; \quad (4.43)$$

$$\sigma_{\text{уф1}} = \sigma_{\text{уф2}} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot (s_o - e)}, \text{Па}. \quad (4.44)$$

Еквівалентні напруження в перерізі  $S_0$  втулки фланців:

$$\sigma_{\text{Еф1}}^{S0} = \sigma_{\text{Еф2}}^{S0} = \sqrt{(\sigma_{\text{оф1}} + \sigma_{\text{уф1}})^2 + \sigma_{\text{хф1}}^2 - (\sigma_{\text{оф1}} + \sigma_{\text{уф1}}) \cdot \sigma_{\text{хф1}}} \quad (4.45)$$

Умови міцності фланців

$$\sigma_{\text{Еф1}}^{S1} \leq [\sigma]_{\text{Тф1}}^t; \quad (4.46)$$

$$\sigma_{\text{Еф2}}^{S1} \leq [\sigma]_{\text{Тф2}}^t; \quad (4.47)$$

$$\sigma_{\text{Еф1}}^{S0} \leq [\sigma_{\text{ф1}}^{S0}]^t \cdot \varphi_0; \quad (4.48)$$

$$\sigma_{\text{Еф2}}^{S0} \leq [\sigma_{\text{ф2}}^{S0}]^t \cdot \varphi_0; \quad (4.49)$$

Умови міцності виконуються.

Умови герметичності:

$$[\Theta] = 0,009 \text{ рад}$$

$$\frac{\sigma_{\text{кф1..кф2}} \cdot D}{h_{\text{ф}} \cdot E_{\text{ф}}} \leq [\theta], \quad (4.50)$$

$$0,0017 \leq 0,009.$$

Умови герметичності виконуються.

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
						54
Змн	Апк	№	Ппк/ім	Підпис	Дата	

Алгоритмічна схема, таблиця ідентифікаторів та програма розрахунку знаходяться у додатку Г.

Висновок: визначені навантаження на кріпильні деталі, напруження у них, а також напруження в найбільш небезпечних перерізах фланців менші за допустимі, що свідчить про надійність роботи фланцевих з'єднань колони.

#### 4.6 Вибір опори апарата

Метою даного розрахунку є вибір опори апарата, який здійснюємо за двома параметрами: діаметром і вагою апарата

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.6.

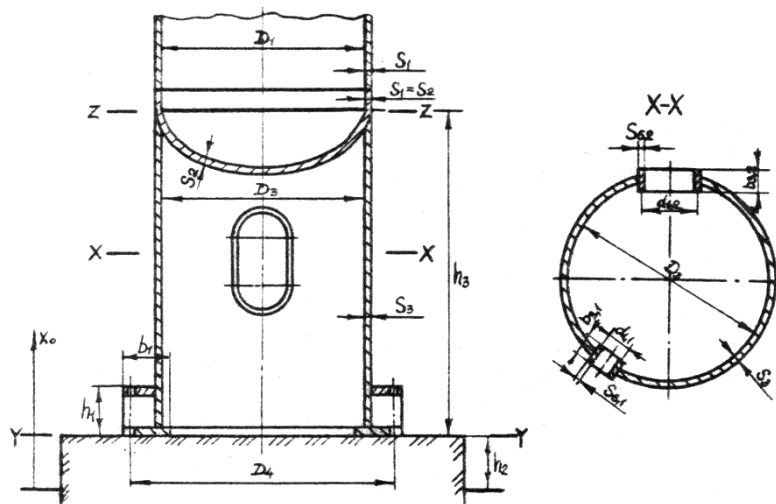


Рисунок 4.6 – Конструкція циліндричної опори для колони

Вихідні дані:

діаметр апарата $D_1$ , м	0,6;
товщина циліндричної обичайки $S_1$ , м,	0,01;
маса фланців і арматури $M_{фл}$ , кг	160;
маса ковпачкової масообмінної тарілки $M'_T$ , кг	23;
густина матеріалу корпусу $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	7850;
об'єм днища $V_{дн}$ , м <sup>3</sup>	0,03;

густина води  $\rho$  при  $T=293^{\circ}K$ ,  $\text{кг/м}^3$

988.

Розрахунок ведемо по методиці, приведений в [21].

Маса корпусу колони:

$$M_k = h_k \cdot \pi \cdot D \cdot S_1 \cdot \rho = 3,2 \cdot 3,14 \cdot 0,6 \cdot 0,01 \cdot 7850 = 437,5 \text{ кг}$$

Маса днища апарата:

$$M_{\text{дн}} = V_{\text{дн}} \cdot \rho = 0,03 \cdot 7850 = 235,5 \text{ кг}$$

Маса кришки апарата:

$$M_{\text{кр}} = M_{\text{дн}} = 235,5 \text{ кг}$$

Маса води в колоні:

$$M_{\text{в}} = \left[ \pi \cdot \left( \frac{D}{2} \right)^2 \cdot H \cdot \rho_{\text{в}} \right] \cdot 0,6 = \left[ 3,14 \cdot \left( \frac{0,6}{2} \right)^2 \cdot 3,2 \cdot 988 \right] \cdot 0,6 = 361,911 \text{ кг}$$

Маса апарату:

$$M = M_k + M_{\text{фл}} + 2 \cdot M_{\text{кр}} + M_{\text{в}} = 437,5 + 160 + 2 \cdot 235,5 + 361,911 = 1466,412 \text{ кг}$$

Навантаження апарата на опори під час гідравлічних випробувань:

$$Q_{\text{ан}}^u = M \cdot g = 1466,412 \cdot 9,81 = 14385,505 \text{ НН}$$

Висновок: виходячи з того, що  $Q_{\text{max}} = Q_{\text{ан}}^u = 0,01435 \text{ МН}$ , вибираємо циліндричну опору типу з згідно ОСТ 26- 467-78 по  $Q_{\text{max}}$ .

#### 4.7 Розрахунок поверхні теплообміну дефлегматора

Метою розрахунку є визначення поверхні теплообміну та вибір нормалізованої конструкції апарата, яка задовольняє заданим технологічним умовам.

Розрахункова схема дефлегматора зображена на рисунку 4.7.

Вихідні дані:

витрати суміші фенолу та крезолу  $G_1$ ,  $\text{кг/с}$  0,471;

початкова температура фенолу та крезолу  $T_{\text{ін}}$ ,  $\text{К}$  423;

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арх.
ЗМН	Апк	№ прок.ім.	Підпис	Дата		56

кінцева температура фенолу та крезолу $T_{1к}$ , К	393;
початкова температура води $T_{2п}$ , К	293;
кінцева температура води $T_{2к}$ , К	308;

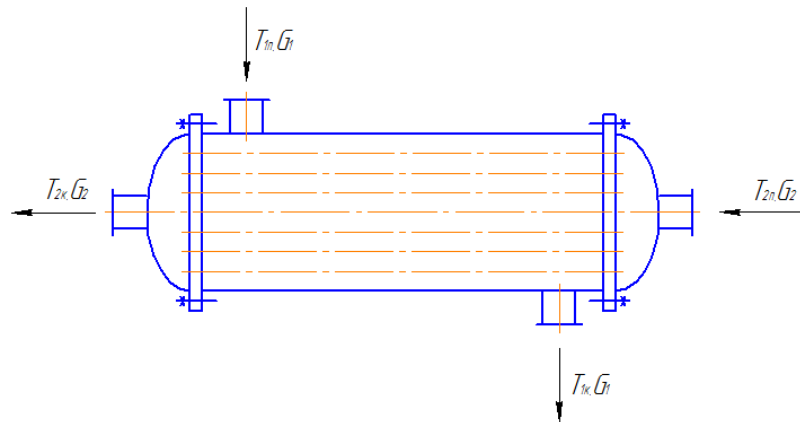


Рисунок 4.7 – Розрахункова схема дефлегматора

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [17].

Більша різниця температур на кінцях дефлегматора:

$$\Delta T_{\text{б}} = T_{1п} - T_{2к} = 423 - 308 = 115 \text{ К.}$$

Менша різниця температур на кінцях дефлегматора:

$$\Delta T_{\text{м}} = T_{1к} - T_{2п} = 393 - 293 = 100 \text{ К.}$$

Середня різниця температур дорівнює:

$$\Delta T_{\text{ср}} = \frac{\Delta T_{\text{б}} + \Delta T_{\text{м}}}{2} = \frac{115 + 100}{2} = 107,5 \text{ К.}$$

Середня температура фенолу та крезолу:

$$T_1 = \frac{T_{1п} + T_{1к}}{2} = \frac{423 + 393}{2} = 408 \text{ К.}$$

Середня температура охолоджуючого теплоносія:

$$T_2 = T_1 - \Delta T_{\text{ср}} = 408 - 107,5 = 300,5 \text{ К.}$$

Теплове навантаження  $Q$  визначається з рівнянь теплового балансу теплообмінника.

Витрати теплоти, яку віддає рафінат при охолодженні:

$$Q = 1,05 G_1 r_1 = 1,05 \cdot 0,471 \cdot 2300000 = 1137465 \text{ Вт,}$$

де  $r_1$  – питома теплота фенолу та крезолу  $135^\circ\text{C}$ ,  $r_1 = 2300 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ .

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арх.
ЗМН	Апк	№ прок.ім.	Підпис	Дата		57



Масові витрати води:

$$G_2 = \frac{Q}{c_2 (T_{2к} - T_{2п})} = \frac{1137465}{4183 \cdot (308 - 293)} = 18,128 \frac{\text{кг}}{\text{с}},$$

де  $c_2$  – теплоємність води при температурі  $27,5^\circ\text{C}$ ,  $c_2 = 4,183 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ .

Приймаємо орієнтоване число Рейнольда з урахуванням того, що в трубному просторі турбулентний режим течії  $Re=15000$ .

Внутрішній діаметр внутрішньої труби:

$$d_b = d - 2s_1 = 0,025 - 2 \cdot 0,002 = 0,021 \text{ м},$$

де  $s_1$  – товщина стінки внутрішньої труби,  $s_1 = 0,002 \text{ мм}$ .

Визначимо кількість труб діаметром 25х2, які забезпечать заданий режим:

$$n = \frac{G_2}{0,785 \mu_2 d_b Re} = \frac{18,128}{0,785 \cdot 1,004 \cdot 10^{-3} \cdot 0,021 \cdot 15000} = 73,019,$$

де  $\mu_2$  – динамічна в'язкість води при температурі  $27,5^\circ\text{C}$ ,  
 $\mu_2 = 1,004 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ .

Розрахунок коефіцієнта теплопередачі: Відповідно до табл. 3.4 [17] прийmemo орієнтовний значення коефіцієнта теплопередачі  $K_{op} = 250 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$ .

Орієнтовне значення поверхні дорівнює [17]:

$$F_{op} = \frac{Q}{(K_{op} \cdot \Delta t_{cp})} = \frac{1137465}{(250 \cdot 107,5)} = 42,32 \text{ м}^2$$

Прийmemo за ТУ 3612-024-00220302-02 одноходовий кожухотрубний теплообмінник з наступними характеристиками: діаметр кожуха – 400 мм, число труб – 105, довжина труб – 6 м, площа теплообміну – 50,4.

Уточнюємо критерій Рейнольдса:

$$Re_2 = \frac{G_2}{0,785 \mu_2 d_e n} = \frac{18,128}{0,785 \cdot 1,004 \cdot 10^{-3} \cdot 0,021 \cdot 105} = 10430,$$

де  $d_e$  – еквівалентний діаметр,  $d_e = d_b = 0,021 \text{ м}$ ,

$n$  – число труб стандартного теплообмінника,  $n = 105$ .

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арх.
Змн.	Апк.	№ змін.	Підпис	Дата		58

Тоді швидкість води в трубі:

$$\omega_2 = \frac{Re_2 \mu_2}{d_e \rho_2} = \frac{10430 \cdot 1,004 \cdot 10^{-3}}{0,021 \cdot 971,54} = 0,513 \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

де  $\rho_2$  – густина води при температурі 27,5 °С,  $\rho_2 = 971,54 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

Критерій Прандля для води:

$$Pr_2 = \frac{c_2 \mu_2}{\lambda_2} = \frac{4183 \cdot 1,004 \cdot 10^{-3}}{0,618} = 6,796,$$

де  $\lambda_2$  – теплопровідність води при температурі 27,5°С,  $\lambda_2 = 0,618 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ .

Вважаючи, що  $\left(\frac{L}{d} = \frac{6}{0,025} \geq 50\right)$  [17] приймаємо коефіцієнт  $\varepsilon_l = 1$ .

В першому наближенні приймаємо поправку Михеева рівною 1.

Критерій Нусельта для води:

$$Nu_2 = 0,021 \varepsilon_l Re_2^{0,8} Pr_2^{0,43} \left(\frac{Pr_2}{Pr_{ст2}}\right)^{0,25} = 0,021 \cdot 1 \cdot 10430^{0,8} \cdot 6,796^{0,43} \cdot (1)^{0,25} = 78,472.$$

Тоді коефіцієнт тепловіддачі для води:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \lambda_2}{d_b} = \frac{78,472 \cdot 0,618}{0,021} = 2309,319 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Оцінимо яке розташування дефлегматора є більш доцільне.

#### І. Вертикально розташований дефлегматор:

Коефіцієнт тепловіддачі від пара конденсуючого на пучок вертикально розташованих труб:

$$\alpha_1 = 3,78 \lambda_3 \sqrt[3]{\frac{\rho_1^2 d_n n}{\mu_1 G_1}} = 3,78 \cdot 0,127 \cdot \sqrt[3]{\frac{858^2 \cdot 0,025 \cdot 105}{0,24 \cdot 10^{-3} \cdot 0,471}} = 833,517 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}},$$

де  $\rho_1$  – густина фенолу та крезолу при температурі 135 °С,  $\rho_1 = 858 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

$\lambda_1$  – теплопровідність фенолу та крезолу при температурі 135 °С,

$$\lambda_1 = 0,127 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}};$$

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
						59
ЗМН	АПК	№ ппк/ім	Підпис	Дата		

$\mu_1$  – динамічна в'язкість фенолу та крезолу при температурі 135 °С,

$$\mu_1 = 0,24 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{r_{z1}} + \frac{\delta}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{r_{z2}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{720,113} + \frac{1}{1860} + \frac{0,002}{46,5} + \frac{1}{5800} + \frac{1}{2309,319}} = 388,386 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}},$$

де  $r_{z1}, r_{z2}$  – опір забруднення зі сторони теплоносіїв,  $r_{z1} = 1860 (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$ ,

$$r_{z2} = 5800 (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}.$$

$\delta$  – товщина стінки теплообмінної труби,  $\delta = 0,002 \text{ м}$ ;

$\lambda_{\text{ст}}$  – теплопровідність матеріалу стінки труби,  $\lambda_{\text{ст}} = 46,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ .

Знаходимо площу поверхні теплообміну:

$$F_p = \frac{Q}{K \Delta t_{\text{cp}}} = \frac{1137465}{388,386 \cdot 107,5} = 27,244 \text{ м}^2.$$

Загальна довжина труб:

$$L = \frac{F}{\pi \cdot d_{\text{зовн}} n} = \frac{27,244}{3,14 \cdot 0,025 \cdot 105} = 3,305 \text{ м}.$$

Приймаємо довжина труб  $L = 3,5 \text{ м}$ .

Середня температура фенолу та крезолу  $t_1$ , °С 135;

Середня температура води  $t_2$ , °С 27,5.

Перерахунок теплоти через один метр поверхності:

$$q = K (t_1 - t_2) = 388,386 (135 - 27,5) = 41751,5 \text{ Вт/м}^2.$$

Температура стінки з боку фенолу та крезолу:

$$t_{\text{ст1}} = t_1 - \frac{q}{\alpha_1} = 135 - \frac{41751,5}{720,113} = 77,02 \text{ °С}.$$

$$\alpha_1 = 3,78 \lambda_3 \sqrt{\frac{\rho_1^2 d_n n}{\mu_1 G_1}} = 3,78 \cdot 0,147 \cdot \sqrt{\frac{852,5^2 \cdot 0,025 \cdot 105}{1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,471}} = 833,517 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}},$$

де  $\rho_1$  – густина фенолу та крезолу при температурі 77 °С,  $\rho_1 = 852,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арх.
						60
ЗМН	Апк	№ Інвент.	Підпис	Дата		

$\lambda_1$  – теплопровідність фенолу та крезолу при температурі 77 °С,

$$\lambda_1 = 0,147 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}};$$

$\mu_1$  – динамічна в'язкість води при температурі 77 °С,  $\mu_2 = 1,2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ .

Температура стінки з боку води:

$$t_{st2} = t_2 + \frac{q}{\alpha_2} = 27,5 + \frac{41751,5}{2309,319} = 45,58 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Тоді коефіцієнт тепловіддачі для води:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \lambda_2}{d_b} = \frac{78,472 \cdot 0,643}{0,021} = 2402,738 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

де  $\lambda_2$  – теплопровідність води при температурі 46 °С,  $\lambda_2 = 0,643 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ ;

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{r_{z1}} + \frac{\delta}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{r_{z2}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{833,517} + \frac{1}{1860} + \frac{0,002}{46,5} + \frac{1}{5800} + \frac{1}{2402,738}} = 422,121 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Знаходимо площу поверхні теплообміну:

$$F_p = \frac{Q}{K \Delta t_{cp}} = \frac{1137465}{422,121 \cdot 107,5} = 25,066 \text{ м}^2.$$

II. Горизонтально розташований дефлегматор:

Коефіцієнт тепловіддачі від фенолу конденсуючого на пучок горизонтально розташованих труб:

$$\alpha_1 = 2,02 \varepsilon_l \lambda_3 \sqrt[3]{\frac{\rho_1^2 L n}{\mu_1 G_1}} = 2,02 \cdot 1 \cdot 0,127 \sqrt[3]{\frac{858^2 \cdot 6 \cdot 105}{0,24 \cdot 10^{-3} \cdot 0,471}} = 4089 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}},$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{r_{z1}} + \frac{\delta}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{r_{z2}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{4089} + \frac{1}{1860} + \frac{0,002}{46,5} + \frac{1}{5800} + \frac{1}{2309,319}} = 698,985 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}},$$

Знаходимо площу поверхні теплообміну:

$$F_p = \frac{Q}{K \Delta t_{cp}} = \frac{1137465}{698,985 \cdot 107,5} = 15,138 \text{ м}^2.$$

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арх.
ЗМН	Апк	№ прок.ім.	Підпис	Дата		61

Загальна довжина труб:

$$L = \frac{F}{\pi \cdot d_{\text{зовн}} n} = \frac{15,138}{3,14 \cdot 0,025 \cdot 105} = 1,837 \text{ м.}$$

Приймаємо довжина труб  $L = 2 \text{ м.}$

Середня температура фенолу та крезолу  $t_1$ , К 135;

Середня температура води  $t_2$ , К 27,5.

Перерахунок теплоти через один метр поверхності:

$$q = K(t_1 - t_2) = 698,985(135 - 27,5) = 75140,888 \text{ Вт/м}^2.$$

Температура стінки з боку фенолу та крезолу:

$$t_{\text{ст1}} = t_1 - \frac{q}{\alpha_1} = 135 - \frac{75140,888}{4089} = 116,6 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$\alpha_1 = 2,02 \varepsilon_1 \lambda_1 \sqrt[3]{\frac{\rho_1^2 L n}{\mu_1 G_1}} = 2,02 \cdot 1 \cdot 0,126 \sqrt[3]{\frac{852,5^2 \cdot 2 \cdot 105}{0,56 \cdot 10^{-3} \cdot 0,471}} = 2121 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}},$$

де  $\rho_1$  – густина фенолу та крезолу при температурі 117 °С,  $\rho_1 = 852,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

$\lambda_1$  – теплопровідність фенолу та крезолу при температурі 117 °С,

$$\lambda_1 = 0,126 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}};$$

$\mu_1$  – динамічна в'язкість води при температурі 117 °С,  $\mu_1 = 0,56 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$

Температура стінки з боку води:

$$t_{\text{ст2}} = t_2 + \frac{q}{\alpha_2} = 27,5 + \frac{75140,888}{2309,319} = 60,04 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Тоді коефіцієнт тепловіддачі для води:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \lambda_2}{d_b} = \frac{78,472 \cdot 0,651}{0,021} = 2432,632 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

де  $\lambda_2$  – теплопровідність води при температурі 60 °С,  $\lambda_2 = 0,651 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}};$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{r_{z1}} + \frac{\delta}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{r_{z2}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{2121} + \frac{1}{1860} + \frac{0,002}{46,5} + \frac{1}{5800} + \frac{1}{2432,632}} = 611,392 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арх.
						62
ЗМН	АПК	№ інвент.	Підпис	Дата		

Знаходимо площу поверхні теплообміну:

$$F_p = \frac{Q}{K \Delta t_{cp}} = \frac{1137465}{611,392 \cdot 107,5} = 17,307 \text{ м}^2.$$

Більш ефективно є горизонтальне розташування дефлегматора при якому коефіцієнт теплопередачі більший і відповідно менша поверхня теплообміну потрібна на проведення процесу.

Остаточно приймемо одноходовий кожухотрубний теплообмінник типу ТН з наступною характеристикою: поверхність теплообміну 18 м<sup>2</sup>; діаметр кожуха 400 мм; діаметр труб 25х2; довжина труб 2 м; число труб 105.

Запас поверхні теплообмінна:

$$\frac{(F - F_p)}{F_p} \cdot 100\% = \frac{(18 - 17,3)}{17,3} \cdot 100\% = 4\%.$$

Висновок: в результаті розрахунків була визначена площа теплообміну  $F_p = 17,3 \text{ м}^2$ , за якою остаточно приймаємо одноходовий кожухотрубний теплообмінник типа ТН з поверхністю теплообміну 18 м<sup>2</sup>, діаметр кожуха 400 мм, діаметр труб 25х2, довжина труб 2 м, число труб 105.

#### 4.8 Розрахунок товщини теплової ізоляції

Мета: розрахувати товщину теплової ізоляції.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.8.

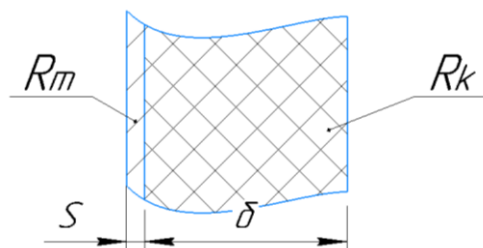


Рисунок 4.8 – Розрахункова схема

Вихідні дані:

матеріал

12X18H10T;

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арх.
Змн	Алк	№ ппк/ім	Підпис	Дата		63

діаметр корпусу  $D$ , м 0,4;

температура розчину  $t_w$ , °C 150.

Товщину теплової ізоляції розраховуємо за методикою [22].

Середня температура теплоізоляційного шару для об'єктів, розташованих на відкритому повітрі, становить, °C:

влітку

$$t_m = \frac{t_w + 40}{2} = \frac{150 + 40}{2} = 95,$$

взимку

$$t'_m = \frac{t_w}{2} = \frac{150}{2} = 75.$$

Теплопровідність теплоізоляційного шару  $\lambda_k = 0,068$ , для літніх умов, Вт/(м·K):

Опір теплопередачі теплоізоляційної конструкції, (м² · K)/Вт:

$$R_{tot} = \frac{t_w - t_e}{q \cdot K_1} = \frac{150 - 20}{68 \cdot 1} = 1,91.$$

де  $q$  – нормована поверхня щільності теплового потоку, Вт/м²K.

Для території України  $K_1 = 1,0$ .

Термічний опір теплоізоляційної конструкції, м²K/Вт:

$$R_k = R_{tot} - \frac{1}{\alpha_e} - R_m = 1,91 - \frac{1}{7} - 0 = 1,77,$$

де  $\alpha_e = 7$  Вт/м²K, коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні ізоляції до оточуючого середовища, за умови що апарат встановлений в приміщенні.

Оскільки обичайка корпусу апарата виготовлена зі сталевого прокату, то термічний опір  $R_m = 0$ .

Товщина теплоізоляційного шару  $\delta_k$ , м:

$$\delta_k = \lambda_k \cdot R_k = 0,068 \cdot 1,77 = 0,12.$$

Висновок: Відповідно до ГОСТ 21880-94 теплоізоляційного шару виконується з мінераловатного прошивного матеріалу марки 125, товщина становить 150 мм

#### 4.9 Розрахунок трубної решітки

Мета розрахунку: розрахувати товщину трубної решітки та перевірити міцність кріплення труб у трубній решітці.

Схема кріплення труб до трубної решітки зображена на рисунку 4.9.

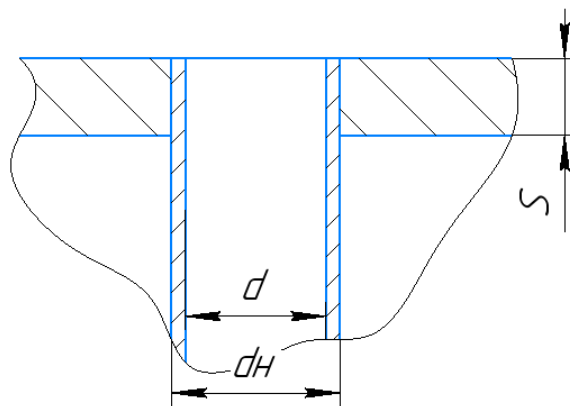


Рисунок 4.9 – Схема кріплення труб до трубної решітки

Вихідні дані:

Діаметр камери $D_k$ , м	0,4;
Товщина стінки корпусу $S_k$ , м	0,008;
Труби $d_n \times S$ , мм	25×2;
Кількість трубок $n$ , шт	105;
Крок труб $t$ , мм	32,0;
Довжина труб $L$ , м	2;
Матеріал трубної решітки [14]	12X18H10T;
Розрахунковий тиск води $P_t$ , МПа	0,00374;
Розрахунковий тиск у між трубному просторі $P_m$ , МПа	0,3.
Розрахунок ведеться згідно методики [17].	



Загальний переріз розподільчої камери, м<sup>2</sup>:

$$F = \frac{\pi D_k^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,4^2}{4} = 0,1256.$$

Загальний поперечний перетин труб, м<sup>2</sup>:

$$F_0 = \frac{\pi d_n^2}{4} \cdot n = \frac{3,14 \cdot 0,025^2}{4} \cdot 105 = 0,05152$$

Коефіцієнт ослаблення решітки отворами:

$$\varphi_0 = \frac{F - F_0}{F} = \frac{0,1256 - 0,05152}{0,1256} = 0,5898.$$

Розрахункова товщина трубної решітки, м:

$$s_{Rp} = 0,5 D_k \sqrt{\frac{|p_T - p_M|}{[\sigma]_p \cdot \varphi_0}} = 0,5 \cdot 0,4 \cdot \sqrt{\frac{|0,00374 - 0,3|}{134,9 \cdot 0,5898}} = 0,0142 \text{ м} = 0,016 \text{ м},$$

де  $[\sigma]_p$  - допустиме напруження решітки (як і для труб),  $[\sigma]_p = 134,9$  МПа.

Виконавча товщина трубної решітки, мм:

$$s_R = s_{Rp} + c = 16 + 5,6 = 21,6.$$

З конструктивних міркувань приймаємо товщину трубної решітки  $s_R = 25$  мм.

Висновок: за результатами розрахунку, товщину трубної решітки прийнято 25мм, що задовольняє умовам роботи апарату.

#### 4.10 Розрахунок укріплення отворів

Метою розрахунку є визначення товщини стінки штуцера, яка буде достатньою для укріплення отворів.

Вихідні дані:

найбільший діаметр штуцера апарату, d, м	0,150;
матеріал	09Г2С;
допустиме напруження $[\sigma]$ , МПа	196;
тиск пари у міжтрубному просторі $p_1$ , МПа	0,361;

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
Змн.	Алк.	№ змін.	Підпис	Дата		66

діаметр обичайки $D_b$ , м	0,4;
товщина стінки обичайки $S$ , м	0,008;
товщина стінки обичайки без прибавки $S'$ , м	0,0056;
прибавки $C_k$ , м	0,00005.

Найбільший допустимий діаметр отвору обичайки, який не потребує укріплення (не враховуючи наявності приварених штуцерів), м [23]:

$$d_o = 2 \cdot \left[ \left( \frac{S - C_k}{S'} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_b \cdot (S - C_k) - C_k} \right] =$$

$$= 2 \cdot \left[ \left( \frac{0,008 - 0,00056}{0,0056} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{0,4 \cdot (0,008 - 0,00056) - 0,00056} \right] = 0,157.$$

$$0,150 < 0,157$$

Діаметри прийнятих штуцерів менші за найбільший допустимий діаметр отвору обичайки, який не потребує укріплення.

Висновок: конструкція не потребує укріплення отворів.

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
Змн	Алк	№ змін	Підпис	Дата		67

## 5 Охорона праці

Відповідно до закону про охорону праці [24], для нового обладнання та технологічних процесів необхідно розробити нешкідливі та безпечні умови праці під час експлуатації та запобігти шкідливим та небезпечним факторам для працюючих.

Тема магістерської дисертації – Розроблення відпарної колони та дефлегматора для модернізації установки виробництва мастила.

Для обслуговування ректифікаційної колони, цілодобово, необхідно три оператори, або фахівці, які здали необхідний кваліфікаційний іспит, мають технічну освіту та пройшли відповідний інструктаж з безпеки на виробництві, працюють у три зміни по 8 годин, обслуговування відбувається безпосередньо в цеху, загальною площею  $S = 100$  (8 x 12,5) м<sup>2</sup>, та висотою стелі  $H = 4,8$  м. Загальний об'єм приміщення  $V = 480$  м<sup>3</sup>.

Шкідливими і небезпечними виробничими факторами є:

- якість повітря на робочому місці;
- електричний удар;
- високі температури;
- промислове освітлення;
- виробничий шум та вібрації;
- пожежна безпека;
- надзвичайні ситуації;
- план евакуації з приміщення на випадок виникнення пожежі.

### 5.1 Повітря робочої зони

Основні параметри мікроклімату:

- температура, °C;
- вологовміст, %;
- швидкість напрямлення повітря, м/с;

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
Змн	Апк	№ змін	Підпис	Дата		68

- випромінювання, Вт/м<sup>2</sup>;
- температура поверхні, °С.

Робота по обслуговуванню ректифікаційної колони належить до робіт середньої важкості в приміщенні з енерговитратами людини 176 – 290 Вт. У приміщенні, де встановлена колона, виконані наступні заходи по забезпеченню необхідних умов для праці:

В теплий період року:

Встановлено витяжні системи та локальне кондиціонування.

В цеху встановлена контрольна апаратура, для досягнення якості повітря здійснюється газоаналізаторами.

З метою забезпечення якості повітря в приміщенні передбачено місцеву вентиляцію, а також відбувається постійний контроль устаткування на герметичність.

Завдяки чому підтримуються наступні умови:

- швидкість напрямлення руху повітря менше 0,3 м/с;
- повітряний вологовміст у межах 40 – 60%;
- температура повітря 20 – 23 °С.

В холодний період року:

Встановлено повітряні конвектори та лампи UFO для підігріву в зимній період року.

Завдяки чому підтримуються наступні умови:

- напрямлення течії повітря обмежено 0,2 м/с;
- повітряний вологовміст 40 – 60%;
- температура повітря 17 – 21 °С.

Заходи по забезпеченню умов праці відповідають [25].

ГДК парів мастила – 5 мг/м<sup>3</sup>, клас небезпечності – III.

У зоні роботи оператора передбачено локальне кондиціонування відповідно до вимог [26]. Завдяки чому досягнута необхідна максимальна

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Апк.	№ Інвент.	Підпис	Дата		

разова концентрація – 0,2 г/мЗ.

Оператори під час, та після закінчення роботи, зобов'язані дотримуватись вимог безпеки, відповідно до карти безпкки на виробництві.

## 5.2 Враження електричним струмом

Приміщення з підвищеною небезпекою.

Електричне обладнання на проєктованій колоні живиться від 3-х фазної мережі перемінного струму промислової частоти яка має напругу 380/220 В та глухозаземленну нейтраль.

Причини враження електричним струмом є:

дотик до відкритих електричних дротів, які знаходяться під напругою внаслідок ушкодження елементів ізоляції.

Заходи запобігання травм в робочому режимі:

- всі рубильники колони знаходяться у спеціальній електричній шафі;
- встановлені стаціонарні, нерухомі огороження та електричні елементи, які не потребують постійного обслуговування – встановлені на недосяжні висоті;
- електричні мережі прокладені в ізоляційних оболонках;
- на панель керування виведено індикатори, такі як: сигнальні лампи ввімкнення та вимкнення електричної мережі в цілому, та електроустаткування окремо;
- на установках розміщено аварійні вимикачі, з опором опір ізоляції не менше  $R = 5 \text{ МОм}$ .

У аварійному режимі застосовується захисне занулення відповідно [27].

Вимоги до занулення:

провідники занулення підібрано так, щоб при замиканні на корпусі або на нульовому захисному проводі виникав струм короткого замикання,

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
						70
Змн	Апк	№ Апк/ім	Підпис	Дата		

перевищуючий не менше ніж в три рази номінальний елементу найближчого запобіжника, або уставку струму регульованого автоматичного вимикача зі зворотною залежністю від струму характеристикою. Кратність струму короткого замикання приймають не менше 1,4.

### 5.3 Вплив високих температур

Температура в середині колони  $t = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Причинами травм та опіків можуть бути неумисні дотики до нагрітих поверхонь колони та устаткування в цілому. Для уникнення травм та опіків використовують тепловий ізоляційний шар. В якості ізоляції обрано азбест. Температура ізоляційної поверхні не перевищує  $35^{\circ}\text{C}$ , відповідно до [28]. Температуру ізоляційного шару контролює термометр відповідно до [29].

Розрахунок товщини теплоізоляційного шару.

Оскільки температура зовнішньої поверхні корпусу ректифікаційної колони перевищує 308 K, проведемо розрахунок товщини ізоляційного шару.

Метою розрахунку теплової ізоляції є визначення товщини ізоляційного шару, який забезпечує додержання заданих виробничо-технічних вимог, що висуваються до ізоляції.

Вихідні дані до розрахунку:

$\lambda_i = 0,052\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$  – коефіцієнт теплопровідності скловати [22];

$T_{c2} = 423\text{ К}$  – максимальна температура внутрішньої поверхні шару теплової ізоляції;

$\alpha_2 = 10\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$  – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні покривного шару ізоляції (прийнято за рекомендаціями [22], для вертикальних поверхонь обладнання).

$[T_i] = 308\text{ К}$  – допустима температура поверхні ізоляції обладнання робочої та обслуговуваної зони з металевим покривним шаром (прийнято за даними [22], таблиця 6.1);

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Алк.	№	Плкім.	Підпис	Дата	

$T_{p2} = 298,6 \text{ К}$  – середня максимальна температура Києва.

Розрахункову схему теплової ізоляції наведено на рисунку 5.1.

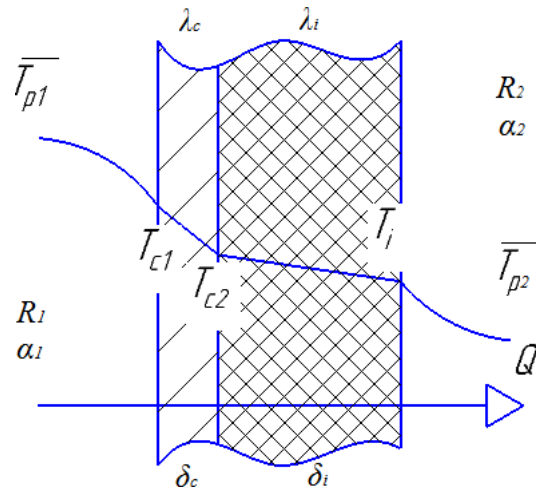


Рисунок 5.1 – Температурна схема теплової ізоляції стінки

Визначення товщини теплоізоляції ведеться за допустимою температурою поверхні ізоляції.

Товщина теплоізоляційного шару:

$$\delta_i = \frac{\lambda_i}{\alpha_2} \frac{T_{c2} - T_i}{T_i - \bar{T}_{p2}} = \frac{0,052 \cdot 423 - 308}{10 \cdot 308 - 298,6} = 0,063 \text{ м.}$$

Приймаємо товщину,  $\delta_i = 0,08 \text{ м}$ , з інтенсивністю випромінювання до  $50 \text{ Вт/м}^2$ , при нормі випромінювання до  $350 \text{ Вт/м}^2$ .

## 5.4 Промислове освітлення

Норма освітлення в приміщенні відповідно до [30] становить 300 люксів.

За характеристикою праці в даному приміщенні джерела природного освітлення не задовольняють необхідним вимогам, тому з конструктивних міркувань застосовували суміщене освітлення. Освітленість необхідна для оператора  $E_{\text{норм}} = 300 \text{ лк}$ .

Основним джерелом штучного світла обрано: світлодіодні лампи. З основними характеристиками: максимальна площа освітлення однієї лампи 20

м<sup>2</sup>, максимально допустима потужність лампи 130 Вт, світловий потік лампи – 8500 люменів, тип кріплення – скоба, ступінь захисту – IP20, тип цоколю – LED, основний матеріал – метал, колір освітлення – натуральний, кольорова палітра – біла, тип кріплення – нерегульована по висоті скоба, дистанційне керування, країна виробника – Китай, загальні габарити: ширина – 60 см, довжина – 90 см.

Висота розміщення над підлогою.

$$h_0 = H - h_C = 4,8 - 0 = 4,8 \text{ м}$$

Висота підвісу світильника над робочою поверхнею дорівнює:

$$h = h_0 - h_P = 4,8 - 0,8 = 4,0 \text{ м}$$

Для приміщення оптимальна кількість світильників: 17 штук, загальна кількість світового потоку в приміщенні: 143686,89 люменів.

Фактична освітленість  $E_{\text{факт}} = 360$  лк, що відповідає [30].

## 5.5 Виробничий шум

Джерела шуму:

- редуктори;
- вентилятори;
- електродвигуни.

Сумарний рівень шуму  $L_c = 93$  дБА.

Рівень шуму не повинен перевищувати 80 дБА, електродвигуни в ректифікації мають рівень шуму, обмежений до 56 дБА, а фактичний становить 45 дБА.

Практично такий результат досягається:

- використання обертових деталей підвищеної якості,  $\Delta L_c = 5$  дБА;
- підвищення класу точності деталей, які використовуються,  $\Delta L_c = 6$  дБА;
- змащування обертових деталей,  $\Delta L_c = 8$  дБА;

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Апк.	№ змін.	Підпис	Дата		



– заміна підшипників кочення на підшипники ковзання,  $\Delta L_c = 6$  дБА;  
Джерелами аеродинамічного шуму є нестационарні явища при течії газів.

Засоби боротьби з аеродинамічним шумом:

- використання шумоізолюючих матеріалів, на поверхні ректифікаційної колони;
- використання шумоізолюючих кожухів, екранів та перегородок, для електродвигунів.

Фактичні рівні шуму  $L = 65$  дБА, що відповідає вимогам [31].

## 5.6 Пожежна безпека

У процесі роботи ректифікаційної колони, використовуються такі речовини: мастило, дерев'яні конструкції. Мастило є важко займиста рідина, але є вірогідність хімічного самозаймання, яке відбувається під час контакту речовини з повітрям, або водою. Відповідно, під час технологічного процесу необхідно чітко слідкувати за відповідністю технологічному регламенту, для процесу ректифікації. Категорія пожежної небезпеки виробництва у відповідності з класифікацією виробництв по [32] призначається В (клас зони – 2) – приміщення в яких знаходяться горючі гази або рідини легкого займання з температурою горіння не більше  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Основні причини виникнення пожежі при виробництві мастила:

1. недотримання правил безпеки при контакті з вогнем;
2. неналежний стан електричної проводки, в також електротехнічних пристроїв та порушення правил під час експлуатації вище зазначених;
3. порушення технологічного процесу;
4. порушення умов зберігання легкозаймистих матеріалів та речовин, в тому числі кінцевої продукції та початкової суміші;
5. порушення нормативно-правових актів з питань пожежної

безпеки на виробництві;

Усі конструктивні елементи споруди прийняті з негорючих матеріалів (залізобетон, цегла, метал).

Протипожежні заходи забезпечуються наступними проектними рішеннями:

– На шляхах евакуації в дверях відсутні замки, відкривання дверей за напрямком евакуації.

– Електрокабелі, що використовуються мають захисні кожухи, які покриті шаром вогняної ізоляції.

– Центральний пульт, має додаткові автоматичні вимикачі, які відключають пошкоджену ділянку електричної мережі, або несправне електричне обладнання.

Нагрівальне та опалювальне обладнання, оснащене захисними екранами, та всі прилади розроблено у відповідності до [26].

Відповідно до [33] число евакуаційних виходів з будівель, дорівнює 2. Евакуаційні виходи розташовуються згідно з планом евакуації.

Тип первинних засобів пожежогасіння:

Для гасіння електрообладнання використовують вогнегасники хладонові (ОАХ– 10) та порошкові (ОП –5, ОП – 10).

В будівлі розміщено наступні написи: «Не вживати тютюнові вироби», «Вогне небезпечно», «Стороннім вхід суворо заборонений».

Виходячи з категорії пожежної небезпеки виробництва вибираємо ступінь вогнестійкості приміщення II – основні несучі конструкції негорючі, а не несучі – важкогорючі.

Роботи які проводяться з відпарною колоною та дефлегматором, строго відповідають «Правил пожежної безпеки в Україні», затверджених 30.12.2014 р., та «Правилами безпеки у пожежо-небезпечних хімічних виробництвах» [34].

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
Змн	Апк	№ Іншім	Підпис	Дата		75

## 5.7 Надзвичайні ситуації

На відстані 800 м від цеху стався вибух загальною масою пропану – 300 т.

Характеристики елементів цеху:

будівля – зі збірного залізо бетону; верстати – важкі;

кабельні лінії – наземні;

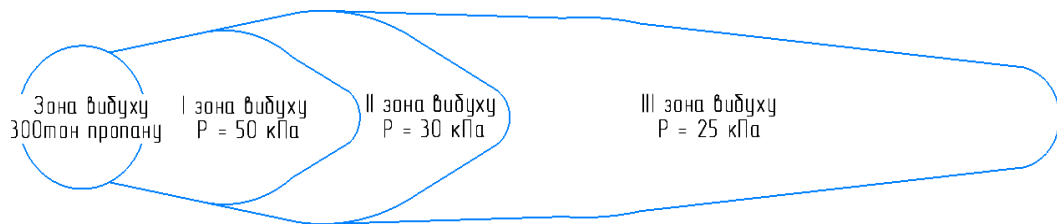
контрольно-вимірювальна апаратура – наявна; границі вогнетривкості несучих стін – 2 год; границі вогнетривкості перегородок – 0,25 год. Категорія виробництва з пожежної безпеки – В. Щільність забудови об'єкту – 25%.

Розрахункова частина:

Зона I :  $r_1 = 117\text{м}$ ;

Зона II:  $r_2 = 199\text{м}$ ;

Висновок: об'єкт опиниться за межами цих зон, тобто у зоні повітряної ударної хвилі (зона III).



$\Delta P_{\text{ф}} = 25, \text{кПа}$ .

Ступінь руйнування будівлі – середня. Характеристика руйнувань будівлі:

Руйнування даху, легких внутрішніх перегородок, в капітальних стінах з'являються тріщини;

Ступінь руйнування верстатів – слабкі. Характеристика руйнувань промислового обладнання:

Пошкодження окремих елементів обладнання, важелів управління, вимірювальних приладів;

Ступінь руйнування контрольно-вимірювальної апаратури – сильні;

Ступінь руйнування кабельних ліній – слабкі;

Ступінь ураження людей – від прямої дії – слабкі. Характеристика

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Апк.	№	Ппкпм.	Підпис	Дата	

уражень людей:

Ступінь вогнестійкості– III ступінь вогнестійкості; Очікувана пожежна обстановка:

для виробництва категорії пожежної небезпеки В, ступеня вогнестійкості будівель – III, при надмірному тиску 25 кПа і щільності забудови більше 20% можна очікувати в перші 30 хвилин окремі пожежі з переростанням за 1...2 год в суцільну.

Безпечна кількість вибухової речовини - менше 50 т.

Визначаємо безпечну кількість пропану для уникнення будь-яких руйнувань, тобто контрольно- вимірювальна апаратура вціліє , якщо кількість пропану буде менше 15 т.

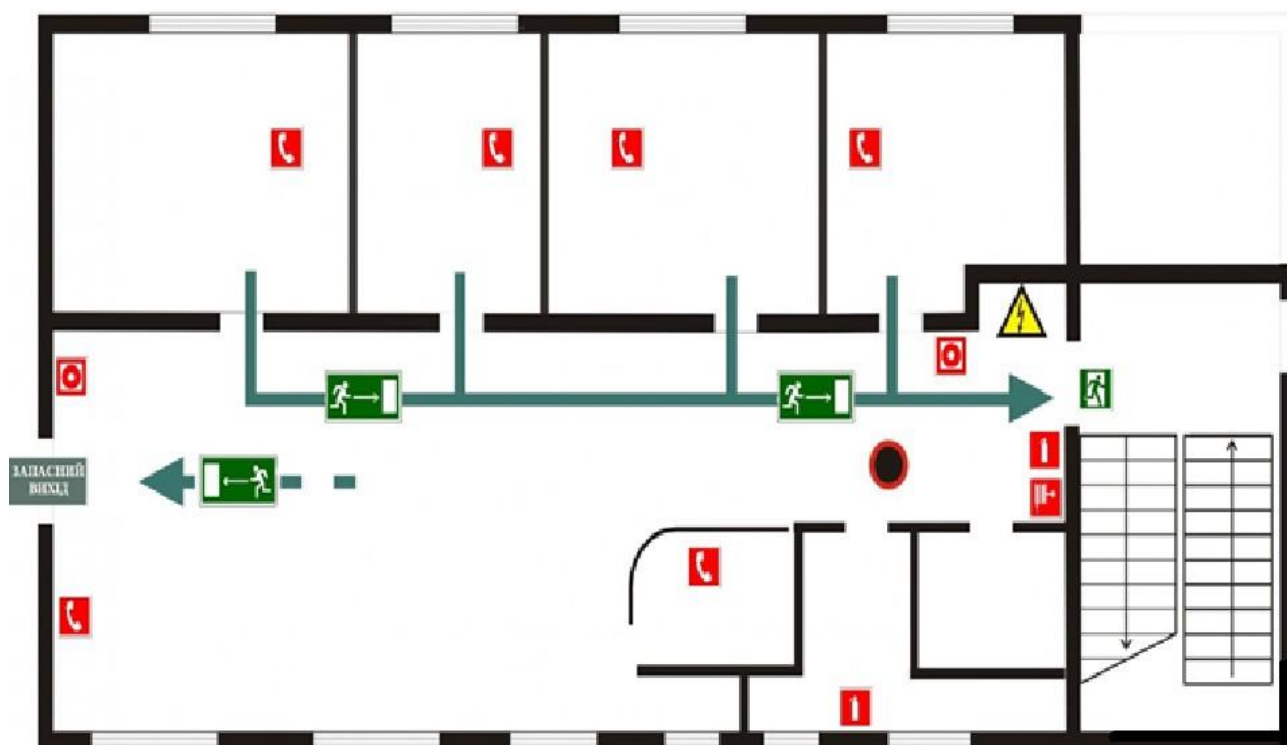
Висновки: На відстані 800 м від цеху стався вибух пропану, що призвело до руйнувань будівлі, елементів цеху, постраждали люди. В першу чергу треба сповістити про надзвичайну ситуацію.

Серед рекомендацій, спрямованих на зменшення заподіяної шкоди та уражень людей, можуть бути такі:

- 1) укріпити будівлю установленням додаткових колон, ферм;
- 2) верстати надійно закріпити на фундаменті, установити захисні навіси;
- 3) кабельні лінії прокласти під землею;
- 4) створити 50% запас контрольно-вимірювальної апаратури;
- 5) установити на вікнах захисні металеві сітки;
- 6) установити і контролювати стан вогнегасників та протипожежних систем;
- 7) зменшити запасу вибухонебезпечної речовини до безпечної кількості.

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
Змн	Апк	№ ПпкІм	Підпис	Дата		77

## 5.8 План евакуації з приміщення на випадок виникнення пожежі



					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк. 78
Змн	Апк	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6 Рекомендації з монтажу та експлуатації масообмінного апарату

Рекомендації з виготовлення обладнання

Обладнання, а також трубопроводи, електрообладнання, які входять в склад даної схеми, повинні бути складені опробовані, укомплектовані.

Даний пункт містить рекомендації щодо забезпечення нормальної експлуатації апаратів та умови проведення монтажу, які включають: спосіб проведення монтажу апаратів, вимоги щодо положення апаратів та окремих його частин, умови проведення випробувань, та шляхи забезпечення правильної експлуатації апаратів [35].

Для правильної експлуатації відпарного апарата та дефлегматора необхідно дотримуватись слідуючих пунктів:

Загальні вказівки:

а) способи транспортування, розвантаження і зберігання апарата на монтажному майданчику замовника повинні забезпечувати попередження механічних пошкоджень його частин та збереження від корозійного впливу атмосферних опадів;

б) стропування апарата повинно виконуватись у відповідності зі схемою підприємства -виробника, наведений в паспорті апарата. Забороняється стропувати апарат за штуцери та інші, не призначені для цього, виступаючі частини виробу;

в) забороняється скидати з платформ ящики з комплектуючими деталями;

г) забороняється транспортування волоком або розвантаження зкочуванням.

Перед монтажем:

- всі транспортні укладки розпаковуються;
- комплектність апарата по комплектуючим відомостям заздалегіть перевіряються;

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Адж.
Змн.	Адж.	№ Дпк/ім.	Підпис	Дата		79

- розпакувати та оглянути всі складальні одиниці та деталі на предмет механічних ушкоджень; перевірити відповідність прокладок умовам експлуатації.

Рекомендації щодо монтажу та експлуатації теплообмінника:

- 1. Установка призначена для роботи в опалюваних приміщеннях із невибухонебезпечним та хімічно неагресивним середовищем.
- 2. Установка може експлуатуватися у вибухобезпечному приміщенні, віднесеному за пожежонебезпекою до категорії Д і за безпекою враження електричним струмом до приміщень із підвищеною безпекою.
- 3. Розташування установки, рівень освітленості, опалення, вентиляція і температура у приміщенні повинні відповідати вимогам «Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением».

Заходи безпеки:

а) монтаж, пуск та експлуатація теплообмінного апарата(конденсатора) повинні здійснюватись з дотриманням всіх правил безпеки, встановлених для окремих видів робіт; загальних правил безпеки і протипожежних вимог, діючих на даному підприємстві; вимог інструкції, а також додаткових вимог встановлених технічною документацією;

б) встановлення апарата повинне виключати небезпеку його падіння;

в) ремонт теплообмінного апарата та його елементів під час роботи не допускається;

г) теплообмінні апарати повинні бути зупинені у випадках:

- підвищення тиску або температури вище дозволених технічною характеристикою;
- виявлення в основних елементах апарата тріщин; протікання у фланцевих з'єднаннях, розриву прокладок;
- при несправності контрольно-вимірювальних приладів та запобіжних елементів;

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
						80
Змн	Апк	№ Інстим	Підпис	Дата		

- при виникненні пожежі, що виникла неподалік теплообмінному апарату;
- при несправності або неповній кількості кріпильних деталей фланцевих з'єднань;

Експлуатація апарата при тиску і температурі, що виходить за межі, вказані в паспорті:

д) апарати не повинні бути джерелом шуму та вібрації в зоні їх обслуговування вище встановлених норм;

е) на основі вимог діючих загальних та галузевих нормативних документів, інструкції і технологічного регламенту установки на підприємстві, що експлуатує апарат, повинні бути розроблені і затверджені у встановленому порядку конкретні правила техніки безпеки при проведенні його монтажу, пуску та експлуатації і виробнича інструкція, які повинні бути видані обслуговуючому персоналу.

ж) попереджувальні знаки та маркировані щитки повинні виконуватись на місці монтажу.

Підготовка до роботи:

а) підприємство-власник зобов'язане до пуску апарата в експлуатацію дотриматись вимог технологічний регламент установки;

б) перед пуском необхідно видалити повітря з апарату.

Перед пуском апарата необхідно перевірити:

а) наявність дозволу Держтехнагляду на введення апаратів в експлуатацію;

б) надійність болтових і фланцевих з'єднань, в тому числі укомплектованість кріплення;

в) правильність та надійність приєднання технологічних трубопроводів;

г) надійність роботи регулюючої та запобіжної арматури, зв'язаної з апаратом технологічною схемою.

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Апк.	№ Інст.	Підпис	Дата		



## 7 Рівень стандартизації та уніфікації

Мета стандартизації та уніфікації – зменшення кількості виробів, їх приведення до одноманітності способів виготовлення та зборки.

Із всіх складальних одиниць, що становить відпарна колона є: корпус, кришки, опори, стандартними є все крім тарілок.

Коефіцієнт стандартизації визначаємо із залежності:

$$K_c = \frac{n_c}{N} = \frac{443}{461} = 0,9601,$$

де  $n_c$  – кількість стандартних деталей в апараті,  $n_c = 443$ ;

$N$  – загальна кількість деталей в апараті,  $N = 461$ .

Коефіцієнт уніфікації визначаємо із залежності:

$$K_y = \frac{n_c + n_3}{N} = \frac{443 + 8}{461} = 0,9783,$$

де  $n_3$  – кількість уніфікованих деталей в апараті,  $n_3 = 8$ .

Із всіх складальних одиниць, що становлять дефлегматорі є: труби, кожух, трубні решітки, кришки, опори, стандартними є всі крім трубних решіток.

Коефіцієнт стандартизації визначаємо із залежності:

$$K_c = \frac{n_c}{N} = \frac{132}{144} = 0,9167,$$

де  $n_c$  – кількість стандартних деталей в апараті,  $n_c = 132$ ;

$N$  – загальна кількість деталей в апараті,  $N = 144$ .

Коефіцієнт уніфікації визначаємо із залежності:

$$K_y = \frac{n_c + n_3}{N} = \frac{132 + 1}{144} = 0,9236,$$

де  $n_3$  – кількість уніфікованих деталей в апараті,  $n_3 = 1$ .

Висновок: в даному розрахунку було визначено коефіцієнт стандартизації, та коефіцієнт уніфікації відпарної колони та дефлегматора.

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
						82
Змн	Апк	№	Ппк	ім	Підпис	Дата

## 8. Розробка стартап-проекту

### 8.1. Опис ідеї проекту

Розділ зроблено за допомогою методик наведених в [38, 39, 40, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47].

Відпарна колона застосовуються у всьому світі, де необхідно розділити рідке середовище. Широке застосування ректифікаційні колони отримали в хімічній промисловості.

Ректифікаційна колона – це апарат, який складається з царг у які встановлені ковпачкові тарілки.

Таблиця 8. 1 – Опис ідеї стартап–проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Виготовити ковпачок тарілки для підвищення прдуктивності, шляхом додаткового барботажу	Виготовлення колони з кращими експлуатаційними параметрами з можливістю подальшої комерціалізації у наступних галузях промисловості: харчової, целюлозно-паперової, хімічної тощо.	Підвищення продуктивності за рахунок додаткового барботажу
		Надійності у використанні обладнання
		Просте обслуговування
	Застосування кращого нагрівача можливо переобладнання вживаних нагрівачів, а також виготовлення нових	Підвищення енергоефективності проведення процесу
		Зменшення витрат на придбання обладнання та його ремонту

На даний момент вже розроблена модернізація обладнання (модернізація відпарної колони). Ми гарантуємо ефективність нововведеної

модернізації та її швидку окупність внаслідок збільшення енергоефективності, покращенні основних показників продукції, що виробляється тощо. Проект включає в себе створення технічної документації, креслень застосуванням систем комп'ютерного проектування. Також, проект передбачає допомогу в впровадженні інновацій, вирішення проблем, що виникають на виробництві, організацію процесу та забезпечення всіма необхідними довідковими матеріалами, налагодження нового обладнання, його автоматизацію, підготовку персоналу для роботи з ним та допомогу при виникненні проблем з впровадженими інноваціями в обладнанні.

Проведено аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

Визначено перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї такі як:

1. Вартість відпарної колони, грн;
2. Енергозатрати теплоносія, кг/с;
3. Продуктивність, кг/год;
4. Вихід бракованої продукції, кг/год;

Визначено попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів–замінників чи товарів–аналогів, що вже існують на ринку, та проведено збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку. Основними конкурентами в даний галузі є виробник ректифікаційного обладнання ОПЕКС Енергосистеми (OPEKS Energysystems) (Україна), виробник ректифікаційного обладнання Трантер (Tranter) (США), виробник ректифікаційного обладнання Свеп (Swep) (Словакія), Корпорація «Енерго Дизайн» (Росія), ТОВ "Afok" (Україна), Корпорація по виготовленню ректифікаційного обладнання «ТЕРМОПРОМ» (США), Корпорація по виготовленню ректифікаційного обладнання «Patriot-nrg» (США), Корпорація по виготовленню ректифікаційного обладнання «Kelvion» (США).

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Апк.	№ Дпк/ім.	Підпис	Дата		

Проведено порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні); в) кращі значення (S, сильні), наведено в таблиці 8.2.

Таблиця 8.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	Потенційні товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	Tranter	Patriot-nrg	Patriot-nrg			
Вартість колони, грн	15000	28000	25000	32000	–	–	+
Енергозатрати теплоносія, кг/с	0,96	1,7	1,5	2,1	–	+	–
Продуктивність, кг/год	87,6	100	77	120	–	+	–
Вихід бракованої продукції, кг/год	1,02	3,3	2,4	2,7	–	–	+
Площа поверхні теплопередачі, м <sup>2</sup>	197	159	150	143	–	–	+

Перевага над конкурентами є: отримання високих результатів, а саме низька вартість колони, малі енерговитрати за короткий термін роботи модернізації. Проект працює за трьома основними критеріями роботи – надійність, ефективність та безпека вироблених виробів. Завдяки співпраці оновлене підприємство стане більш енергоефективним, підвищиться якість продукції, що виготовляється. Тобто підприємство стане більш конкурентоспроможним на ринку в Україні та світі. Також одним з основних

напрямків діяльності проекту є: створення кращих робочих умов для працівників та їх безпеки при роботі.

## 8.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Відпарні колони застосовують у промисловості. Теплоносіями можуть бути газ, пара, рідина або тверде тіло.

Розроблення стартап-проекту проводимо згідно методики.

В межах даного підрозділу проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту. Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових:

Елементи нагрівача виготовляються на спеціальному металорізальному обладнанні та верстатах з ЧПУ, внаслідок необхідності обробки складних поверхонь. Нагрівач повинен витримувати значні навантаження.

Таблиця 8.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Підвищення продуктивності за рахунок додаткового барбатажу	Модернізована конструкція тарілок	На даний момент відомо багато конструкцій колон, однак процес розділення можна зробити ефективнішим за рахунок ковпачків.	Література для вивчення процесу ректифікації представлена декількома авторами, для підвищення конкурентоспроможності потребує подальшого вивчення
Підвищення енергоефективності	Додаткова модернізована колона, нова технологічна лінія виробництва колон	Наявні, відомі конструкції модернізуються за рахунок збільшення барбатажу	На ринку представлено багатьма виробниками ректифікаційного обладнання
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Нова конструкція ковпачків, які покращують нагрівач за багатьма критеріями.			

За результатами аналізу видно, що можливості технологічної реалізації проекту, а також технологічного шляху, яким це доцільно зробити – є можливим. Підприємства на фоні енергозбереження потребують нового інноваційного обладнання.

### 8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначено ринкові можливості, які можна застосувати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть завадити реалізації проекту, дозволяють спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів–конкурентів.

Спочатку проведено аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 8.4).

Ректифікаційне обладнання в даний час представляють собою бурхливо розвивається сегмент ринку. Це обумовлено їх високою енергоефективністю і, як наслідок, значним зниженням експлуатаційних витрат. Причому з кожним роком технології удосконалюються.

Кількість встановленого ректифікаційного обладнання в Європі наближається до 10 мільйонам. В Україні, за найсміливішими оцінками, мова йде про тисячі одиниць обладнання, хоча ринок насичений різними системами європейських, американських, китайських, українських виробників. Основними факторами, що стримують зростання ринку ректифікаційного обладнання (навіть якщо не брати до уваги кліматичні умови), є відносно невисока вартість експлуатації газового магістрального обладнання, відсутність програм підтримки та субсидування кінцевого споживача теплового обладнання. Також мають місце мала інформованість потенційних споживачів і деяка недовіра до даних систем.

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
						87
Змн.	Апк.	№ Апк/ім.	Підпис	Дата		

Основними конкурентами в даний галузі є виробник теплоенергетичного обладнання ОПЕКС Енергосистеми (OPEKS Energysystems) (Україна), виробник ректифікаційного обладнання Трантер (Tranter) (США), виробник ректифікаційного обладнання Свеп (Swep) (Словачія), Корпорація «Енерго Дизайн» (Росія), ТОВ "Afok" (Україна).

Основні виробники ректифікаційного обладнання в Україні: Торгівельний дім Аллтан, ЕКО EIR, Техінсервіс, ТОВ "Afok".

Корпорація «TERMOPROM» (США), Корпорація «Patriot-nrg» (США), Корпорація «Kelvion» (США).

В таблиці 8.4 наведено попередні характеристики потенційного ринку стартап-проекту.

Таблиця 8.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Кількість основних гравців в Україні, од	4
Загальний обсяг продаж, грн/ум. од	600
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Масштабність
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ, ГОСТ, ISO.
Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	60

За результатами аналізу таблиці робимо висновок, що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

Динаміка ринку продажу ректифікаційного обладнання представлена на рисунку 8.1.

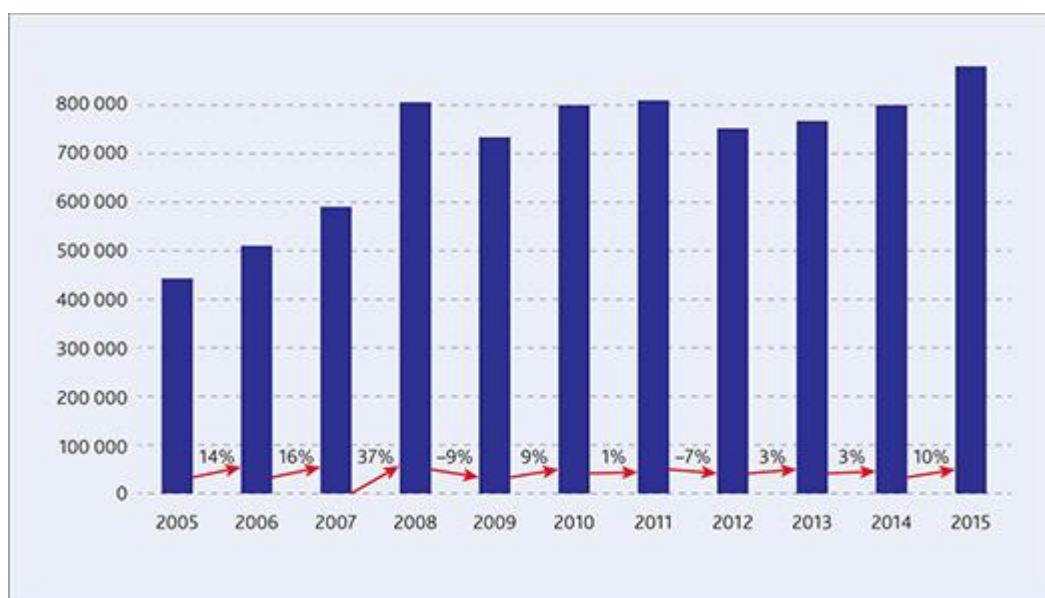


Рис. 8.1 – Статистика продажу ректифікаційного обладнання

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (таблиця 8.5).

Таблиця 8.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Потреба в енергоефективних колонах, потреба в підвищенні барбатажу в апаратах.	Компанії, що виготовляють ректифікаційне обладнання, машинобудівельні компанії тощо.	1)ДСТУ, ГОСТ, ISO 2)Доступна ціна в порівнянні з аналогами	- до продукції: енергоефективні апарати та відповідність всім нормативам, щодо міцності, надійності; - до компанії-постачальника: швидке постачання, сервісне обслуговування.

Проводимо аналіз ринкового середовища: складаємо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому



заважають (таблиці 8.6, 8.7). Фактори в таблиці подавати в порядку зменшення цінності.

Фактори поділяються на внутрішньо маркетингові середовище та зовнішньо маркетингові середовище. До внутрішньо маркетингових факторів відносяться власний капітал стартап-проекту, інтелектуальні ресурси, технологічні ресурси, матеріальні, місцезнаходження. До зовнішньо маркетингового середовища стартап-проекту відносяться природні, політико–правові, соціально–культурні, економічні, науково–технічні і демографічного середовища.

Фактори загроз вносимо до таблиці 8.6.

Таблиця 8.6 – Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	2	3
Політико-правові «Закон України про підприємницьку діяльність» .	Вплив на працеспроможність проекту, купівлю/продаж товару необхідного для товару. Підтримка держави нових підприємців – недостатня.	Відповідність вимогам законодавства України та країн з якими ведеться співпраця. Зміна напрямків імпорту/експорту
Зсув стратегічного курсу країни з промислового сектору в агропромисловість	Зменшення кількості клієнтів в Україні	Шукати клієнтів у агросекторі Шукати клієнтів закордоном Для українських клієнтів підкреслювати енергоефективність наших колон
Економічні: інфляція, підвищення цін на матеріали Складний стан економіки України	Впливає на купівлю/продаж товару, або ресурсу необхідного для товару у клієнтів немає грошей	Підвищення/пониження ціни на продукт Пропонувати клієнтам в Україні колони в кредит. Виходити на закордонні ринки
Демографічні: Зниження народжуваності та кількості населення.	Невідповідність технологій споживчих та послуг науково-технічному розвитку. «Консервативність споживачів до запровадження інновацій».	Постійний пошук та моніторинг актуальних тенденцій в обраній та в суміжних сферах діяльності. Інноваційна діяльність.

Таблиця 8.7 – Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Науково-технічні: застаріла конструкції ректифікаційного обладнання	Поява нової технології виробництва ректифікаційного обладнання.	Розробка нового обладнання та конструкцій ковпачків.
Невідповідність продукції наших споживачів та наших послуг науково-технічному розвитку галузі	Монополія нових технологій	Впровадження даної технології та декларування власної ціни на дану пропозицію.
Розвиток машинобудівної галузі	Покращується попит на продукцію	Збільшення числа потенційних клієнтів в майбутньому.
Високий інтелектуальний потенціал країни	Кваліфіковані, лояльні і добре мотивовані працівники як інструмент для досягнення конкурентних переваг	Оптимізація управління трудовими ресурсами; розробка методів, спрямованих на підвищення продуктивності праці

Надалі проводимо аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку, отримані дані заносимо до таблиці 8.8.

Таблиця 8.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції: олігополія	Мала кількість спеціалістів здатних якісно виконувати комплексну роботу.	Співпраця з технічними вузами задля покращення якості розробок
2. За рівнем конкурентної боротьби: Національний	Забезпечення конкурентоспроможності і на світовому ринку	Надання консалтингових послуг та можливість співпраці з нашим інженерним відділом
3. За галузевою ознакою: Міжгалузева	Ректифікаційні апарати використовують для різногалузових виробництв та процесів.	Створення удосконаленого масообмінного обладнання, яке спрямоване на зниження енергозатрат.
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-рідова	Зосередження конкурентоспроможності на якості товару	Постійний моніторинг ринку щодо появи продуктів( технологій) замінників
5. За характером конкурентних переваг: нецінова	Технічні переваги, впровадження нововведень, найефективніші методи збуту товару	Зосередження конкурентоспроможності на якості товару, наданні додаткових послуг та збільшення асортименту
6. За інтенсивністю: марочна	Для вдалого просування, підвищення каналів збуту, кількості клієнтів та партнерів необхідно зарекомендувати себе, створити власне ім'я.	Створення логотипу, нанесення його (або назви) на продукт. Реклама в інтернеті. Збільшення кількості ділових контактів.

ЗМН	АПК	№ ДНКІМ	Підпис	Дата

ЛН81мп.066211.001ПЗ

Адж.

91

Після аналізу конкуренції проводимо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за моделлю 5 сил М. Портера. Згідно цієї моделі розглядаємо 5 основних сил, які необхідно врахувати перед виходом на ринок, опис наведено в таблиці 8.9.

Таблиця 8.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Основні компанії, що виготовляють масообмінні апарати: «Tranter» «Теплообмен сервис», «OPEKSEnergysystems».	Недостатність інвестицій, обмежена можливість науково-дослідницьких та досвідно-конструкторські	Існує загроза інтегрування постачальників в бізнес (відома подібна практика закордоном)	-високі ціни на товари ; -не якісні послуги; - безінноваційність.	Інші фірми виробляють схожу продукцію. Але на даний момент аналогів по показникам продуктивності немає
Висновки:	Основна перевага –, тісне спілкування з клієнтом можна заробити імідж та отримати клієнтів.	Вхід на ринок можливий. Потенційними конкурентами можуть стати схожі підприємства-новатори.	Постачальники загалом не диктують умови.	Клієнту завжди необхідне: Конкурентно-спроможне обладнання за низькою ціною якісне та інноваційне	Мінімальне обмеження через товари-замінники.

Згідно отриманого аналізу конкуренції визначено, що конкуренція на ринку, що важливим конкурентним рішенням є розвиток інновацій, тісний контакт з клієнтом, модернізації та створення нового обладнання.

На основі аналізу конкуренції, проведеного в таблиці 8.9, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (таблиця 8.2), вимог споживачів до товару (табл. 8) та факторів маркетингового середовища (таблиці 8.6, 8.7) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності.

Згідно отриманих результатів основним параметром конкурентоспроможності є енергоефективність ректифікаційного обладнання.

Таблиця 8.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
Ціна	За рахунок зменшення енергозатрат – загальна вартість знижується.
Технології	Впровадження модернізованої поверхні труб теплообмінника не було застосовано в цьому напрямку раніше.
Сервісне обслуговування	Акцент на подальшій співпраці з існуючим клієнтами.
Можливість виходу на закордонний ринок	Інноваційність технології дозволяє впроваджувати ці апарати не тільки на території України.

За визначеними факторами конкурентоспроможності проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту.

Таблиця 8.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з проектом						
		-3	-2	-1	0	+1	+2	33
Ціна	15			◇	△	□		
Технології	12	◇	△		□			
Сервісне обслуговування	7		△		□	◇		
Можливість виходу на закордонний ринок	0		◇	□	△			

\* □ – «Tranter»

△ – «Patriot-nrg»

◇ – «OPEKSEnergysystems».

Сильні сторони проекту: ціна; технологія та сервісне обслуговування.

Слабкі сторони проекту: важко вийти на закордонний ринок

Складаємо SWOT-аналіз (матриці аналізу сильних (Strength), слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (таблиця 8.10), та вносимо результати до таблиці 8.12.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний період їх

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
ЗМН	Апк	№ Інв.м.	Підпис	Дата		93

ринкового виконання з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Таблиця 8.12 – SWOT - аналіз стартап-проекту

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Низька вартість впровадження проекту.</li> <li>- Високий інтелектуальний потенціал компанії</li> <li>- Перевага над конкурентним товаром за рахунок малих габаритів, енергоефективності.</li> <li>- Підвищення продуктивності розробок за рахунок співробітників.</li> <li>- Плідна співпраця з постачальниками на взаємовигідних умовах</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Низька дохідність проекту.</li> <li>- Не відповідність проекту сучасним тенденціям в галузі.</li> <li>- Невеликий асортимент продукції, що виготовляється (початковий рівень).</li> <li>- Недостатній рівень фінансування</li> </ul>
Можливості	Загрози
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Можливість виходу на закордонний ринок</li> <li>- Сучасні технології</li> <li>- Високий рівень енергозбереження та ресурсозбереження загалом</li> <li>- Універсальність застосування модернізованого обладнання</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Поява сучаснішого обладнання</li> <li>- Витіснення конкурентами компанії з ринку</li> <li>- Недостатнє фінансування української промисловості, відсутність інвесторів, недостатня підтримка державою нових підприємств</li> <li>- Недостатність клієнтів, що можуть дозволити собі оновлення систем</li> <li>- Зміна населення.</li> </ul>

Визначені альтернативи аналізуємо з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів, отримані дані вносимо до таблиці 8.13.

Таблиця 8.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
Виготовлення модернізованих колон, які можна застосовувати в будь-яких галузях промисловості	Високий	10 місяців
Модернізація вже застарілих нагрівачів .	Достатня	1 рік
Обслуговування нагрівачів	Достатня	1 рік

Після аналізу зазначити обираємо альтернативу виготовлення модернізованих колон, які можна застосовувати в будь-яких галузях промисловості.

#### 8.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першочергово передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів. Розроблення ринкової стратегії проекту проводимо згідно методикою наведеною в таблиці 8.14.

Таблиця 8.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Малі приватні промислові підприємства хімічної галузі	85%	78%	Попит залежить від розміру компанії та фінансового стану	Високі бар'єри входу на ринок
Державний сектор	58%	47%	Достатня конкуренція,	
Обрано наступні цільові групи: приватні підприємства				

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) обираємо приватні компанії і використовуємо стратегію концентрованого маркетингу, який зосереджується на певному сегменті ринку.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку, яка наведена в таблиці 8.15.

Таблиця 8.15 – Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
Підписання довгострокових контрактів	Диференційований маркетинг	Захисні дії, наслідування лідера	Стратегія диференціації

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (таблиця 8.16).

Таблиця 8.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
Ні	Треба починати з клієнтів, не зациклених на відомому бренді, тих, хто готовий експериментувати.	Ні, не буде. Буде утворено унікальну продукцію	Стратегія заняття конкурентної ніші

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (таблиця 8.15) та стратегії конкурентної поведінки розробляється стратегія позиціонування (таблиця 8.16). що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 8.17 – Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1. Аргументована ціна. 2. Необхідна якість	Стратегія спеціалізації.	1. Продукція вищої якості за конкурентну 2. Можливість економити на ресурсах	1. Висока якість та надійність. 2. Тривалі контракти.

## 8.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 8.18 підсумовуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 8.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Висока актуальність ректифікаційного обладнання у різних галузях	Збільшення чистого прибутку. Покращення якості продукту	- Високий інтелектуальний потенціал компанії - Сучасні технології - Підвищення продуктивності процесу та якості товару
Зменшення виходу бракованого матеріалу	Збільшення продуктивності	Сучасна конструкція колони
Зниження енергозатрат на виробництво	Зменшення ціни продукту	Сучасна конструкція колони

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання. Орієнтовний перелік можливих характеристик товару наведено у таблиці 8.19.

Таблиця 8.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Зменшення енерговитрат, матеріальних та людських ресурсів на виробництво нагрівачів.		
	Вирішення проблем пов'язаних з виробництвом (випуск бракованої продукції, низька надійність обладнання тощо).		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	Ректифікаційне обладнання, особливістю якого є використання модернізованих ковпачків. 1. Надійність 2. Енерго- та ресурсозбереження 3. Доступна ціна 4. Інноваційність технології	+/+	-/+/-/-



	Якість: стандарти, нормативи, параметри тестування міжнародні та вітчизняні стандарти ДСТУ, ISO, DIN та інші.
	Пакування – відсутнє
	Марка: назва організації-розробника + назва товару
III. Товар із підкріпленням	До продажу : • підписання довготривалого контракту; • доставка; • різні способи оплати;
	Після продажу: • Гарантія якості продукції
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання. Використання власних запатентованих розробок та методів оптимізації, консультування та шляхів розв'язку проблеми.	

До основних техніко-економічних характеристик товару відносяться:

- Економічні – вартість обслуговування, експлуатації, утилізації, витратних матеріалів, ремонту, знижки;
- Призначення (технічні) – показники, що визначають головний напрямок використання товару та можливу сферу його застосування: класифікаційні показники, складу і структури, технічної досконалості;
- Надійності – здатність товару безвідмовно функціонувати: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність;
- Технологічні – можливість оптимізації витрат матеріалів, праці, коштів, часу під час технологічної підготовки виробництва, виготовлення та використання товару;
- Органолептичні – визначають властивості товару, які людина може визначити за допомогою своїх органів чуття;
- Ергономічні – показники ступеню адаптованості технічних та конструктивних рішень виробу до біологічних властивостей людини та середовища використання товару: гігієнічні, антропометричні, фізіологічні та психологічні;
- Естетичні – оцінюють зовнішній вигляд товару;

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Адж.
Змн.	Апк.	№ Дпк/ім.	Підпис	Дата		98

- Транспортабельності – визначають пристосованість продукції до транспортування, підготовчих, початкових і кінцевих операцій перевезення;
- Екологічності – характеризують рівень негативного впливу на довкілля;
- Безпеки – безпечності та нешкідливості споживання товару.

Формулюємо три рівні товару: товар за задумом, товар у реальному виконанні та товар із підкріпленням. Далі розглядаємо техніко-економічні характеристики кожного рівню товару, отримані дані вносимо до таблиці 8.19.

Після формування маркетингової моделі товару слід особливо відмітити – чим саме проект буде захищено від плагіату. Захист може бути організовано за рахунок захисту ідеї товару (захист інтелектуальної власності), або ноу-хау, чи комплексне поєднання властивостей і характеристик, закладене на другому та третьому рівнях товару.

Таблиця 8.20– Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на то-вар/послугу
10000-95000 грн.	30000-100000 грн – ціни невисокі	Підприємства великі, середні та малі(цехи)	3000-7000 грн/1 консультація, в онлайні безкоштовно.
Сама модернізація робиться коштом підприємства (клієнта) оплата йде тільки за обсяги роботи.	Розробка нового обладнання	Дивлячись від розміру підприємства (клієнта) та обсягів виконання:	Нижня: 3200 грн

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз

рівня доходів цільової групи споживачів (таблиця 8.20). Аналіз проводиться експертним методом.

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (таблиця 8.21).

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 8.21 – Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
В роздріб	Гарантія Тестування Доставка Ремонт Допомога введення у експлуатацію Допомога при запуску	Дворівневий-між виробником і покупцем послідовно існують оптовий і роздрібний продавці	Власна система збуту через інтернет і домовленість про подальшу співпрацю
Консультавання при виникненні питань та пропозицій	Виконання роботи та складання	Однорівневий	Через інтернет по телефону, відеоконференціях та на місці
Закупівля оптом	Швидкість перевезення до клієнта, малі енергозатрати.	Нульового рівня - виробник сам продає товар кінцевому споживачеві, прямі канали розподілу	Через інтернет

Система збуту товарів - ключова ланка комерційної діяльності й свого роду фінішний комплекс у всій діяльності фірми по створенню, виробництву й

доведенню товару до споживача. Власне, саме тут споживач або визнає, або не визнає всі зусилля підприємства корисними і потрібними для себе і, відповідно, купує або не купує її продукцію і послуги .

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (таблиця 8.22).

Таблиця 8.22 – Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Розв'язок проблем в діяльності	Інтернет та соціальні мережі	Запевнення в швидкості та якості, створення партнерських стосунків з клієнтом.	Запевнити в швидкому розв'язку та відповідей на всі питання, що турбують.	«Довговічність і надійність»
Пошук варіантів розвитку клієнта (покращення параметрів, зменшення затрат тощо).	Інтернет та соціальні мережі, реклама	Надання всієї інформації про Нас, надання гарантій та картки клієнта з подальшим сервісом.	Показати перелік наших послуг та надати інформацію для звернення.	«Все краще для вас »
Бажання здійснити вигідну покупку, що буде актуальною тривалий час.	Інтернет та соціальні мережі, відеочати, реклама виставки та друкована продукція	Надання всієї інформації та гарантія на покупку.	Показати перелік наших послуг та надати інформацію для звернення.	«Краще не знайдете»

Результатом останнього пункту має стати ринкова (маркетингова) програма, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

## 8.6. Висновки до розділу

В процесі розробки стартап-проекту було розроблено висновки, що можлива ринкова комерціалізація проекту виготовлення відпарної колони з модернізованими ковпачками. На користь цього свідчить наявність попиту, що виражена потребою енергоефективності обладнання.

У проведеному аналізі було визначено стратегії збуту, та вплив основних факторів на попит послуг, які надаються нашим проектом. Та згідно отриманих даних у нашого проекту є:

- можливість ринкової комерціалізації проекту, оскільки надані послуги наявний попит, динаміка ринку, рентабельність роботи на ринку;
- перспективи впровадження для потенційних груп клієнтів, таких як малі, середні підприємства, що займаються виготовленням нагрівачів та суміжні підприємства;
- для ринкової реалізації проекту альтернативою впровадження доцільно обрати створення наукових семінарів та брати участь на виставках в даній сфері.

## Висновки

У магістерській дисертації розроблено відпарну колону та дефлегматор для модернізації установки виробництва мастила було розроблено відпарну колону, та дефлегматор.

Вибрано технічні характеристики цих апаратів, обґрунтовано обрані конструкції, проведено патентний пошук, розроблені заходи, що до вимог охорони праці, проведено розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність апаратів, частина розрахунків виконана у вигляді програм з описом методик розрахунків у середовищі Mathcad, подано рекомендації з монтажу та експлуатації, визначено очікувані техніко-економічних показники, оцінено рівень стандартизації та уніфікації розроблюваних апаратів, проведено розробку технологічного процесу виготовлення деталі – ковпачка та схеми автоматичного керування технологічним процесом установки.

Проведено модернізацію відпарної колони шляхом використання вдосконалених ковпачків на тарілці, що підвищує ефективність масообміну (Патент України на корисну модель № ) і дозволяє підвищити продуктивність в порівнянні з аналогами.

Графічна частина складається з восьми креслень в перерахунку на формат А1. Виконані креслення установки виробництва мастила, функціональна схема автоматизації, складальні креслення відпарної колони та дефлегматора, основних вузлів цих апаратів. До складальних креслень складено специфікації.

Розроблено стартап-проект запропонованої модернізації.

За результатами дисертаційної роботи отримано патент на корисну модель України, результати апробовано на 3 міжнародних конференціях, та опубліковано статтю у фаховому науковому журналі.

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
Змн	Апк	№	Ппк	ім		103
			Підпис	Дата		

## Выводы

В магистерской диссертации разработаны отпарная колонна и дефлегматор для модернизации установки производства масла было разработано отпарную колонну, и дефлегматор.

Выбрано технические характеристики этих аппаратов, обоснованно выбранные конструкции, проведен патентный поиск, разработаны мероприятия, соответствующие требованиям охраны труда, проведены расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность аппаратов, часть расчетов выполнена в виде программ с описанием методик расчетов в среде Mathcad, даны рекомендации по монтажу и эксплуатации, определены ожидаемые технико-экономических показатели, оценен уровень стандартизации и унификации разрабатываемых аппаратов, проведена разработка технологического процесса изготовления детали - колпачка и схемы автоматического управления технологическим процессом установки.

Проведена модернизация отпарной колонны путем использования усовершенствованных колпачков на тарелке, что повышает эффективность массообмена (Патент Украины на полезную модель №) и позволяет повысить производительность по сравнению с аналогами.

Графическая часть состоит из восьми чертежей в пересчете на формат А1. Выполнены чертежи установки производства масла, функциональная схема автоматизации, сборочные чертежи отпарной колонны и дефлегматора, основных узлов этих аппаратов. К сборочным чертежам составлены спецификации.

Разработан стартап-проект предложенной модернизации.

По результатам диссертационной работы получен патент на полезную модель Украины, результаты апробированы на 3 международных конференциях и опубликована статья в научном журнале.

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Адк.
Змн	Апк	№ Апк/м	Підпис	Дата		104

## Conclusion

In the Master's thesis developed a stripper column and a reflux condenser for modernization of oil production plant unit was developed a stripper column and a reflux condenser.

The technical characteristics of these devices have been selected, the selected designs have been substantiated, the patent search has been carried out, the measures have been worked out, the calculations confirming the efficiency and reliability of the devices have been made to the requirements of safety, some of the calculations have been made in the form of programs describing the methods of calculation in the Mathcad environment, given recommendations of installation and exploitation, determined technical and economic indexes, rated the level of standardization and unification of the developed devices, conducted the development of technological process in manufacturing parts of cap and automatically control schemes of the technological process.

The stripper column was modernized by using of advanced caps on the plate (Patent of Ukraine for utility model No.) and improves performance over compared to analogues.

The graphic part consists of eight drawings in terms of A1 format. Completed drawings of the installation of oil production, functional scheme of automation, assembly drawings of stripper column and reflux condenser, the main units of these apparatus. Specifications are drawn up for the drawing drawings.

A startup project of the proposed modernization has been developed.

According to the results of the thesis, the patent for utility model of Ukraine was obtained, the results were tested at 3 international conferences, and the article was published in a professional scientific journal.

					ЛН81мн.066211.001/73	АБК.
ЗМН	АБК	№ 70111М	Підпис	Дата		105



## Перелік посилань

1. ДСТУ 3437-96 Нафтопродукти. Терміни та визначення.
2. Ластовкин Г.А., Радченко Е.Д., Рудин М.Г. (ред.) Справочник нефтепереработчика.
3. ГОСТ 5632 – 72 .
4. ГОСТ 1050-88.
5. ГОСТ 380-94.
6. ПОН-А (481-80).
7. Патент № CN208493286U, Китай, В04В 5/00(2006.01), опубл. 2019-02-15.
8. Патент № CN208525863U, Китай, опубл. 2019-02-22.
9. Патент № CN208911498U, Китай, опубл. 2019-05-31.
10. Патент № RU2667286C1, Росія, опубл. 2019-09-18.
11. Патент № RU2680064C1, Росія, опубл. 2019-02-14.
12. Патент № CN208871912U, Китай, опубл. 2019-05-17.
13. Патент № CN208372485U, Китай, опубл. 2019-01-15.
14. Патент № EP3159054A1, Європейський, В01D1/08, опубл. 2019-12-12.
15. Патент № 123456U, МПК (2006.1) ) В01D1/22, Заявка № u201809633, 02.10.2018; Опубл. 26.02.2019, Бюл. № 4.
16. Патент Патент № 124209U, МПК (2006.1) ) В01D1/22, Заявка № u201810606, 01.11.2018; Опубл. 26.03.2019, Бюл. № 6.
17. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии, С – Пт.: Химия. – 1987. – 576 с 2.
18. ГОСТ 14249-89 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность»
19. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию. / Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. Под ред. Ю.И. Дытнерского. М.: Химия. 1991. – 496 ст. 13.

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арх.
Змн	Апк	№ Інвент	Підпис	Дата		106

Конструювання та розрахунків опор колонних апаратів: Навч. посібник /І.А. Андреев. – К.: ІЗМН, 1997. – 80с

20. Грудев И. Д. Прочность фланцевых соединений элементов открытого профиля. Болтовые и специальные монтажные соединения в стальных строительных конструкциях. Международный коллоквиум. – 1989. – Труды. Т.2 – С. 7-13.
21. Конструювання та розрахунків опор колонних апаратів: Навч. посібник /І.А. Андреев. – К.: ІЗМН, 1997. – 80с., Андреев І.А. Конструювання і розрахунків типового устаткування хімічних виробництв. Основні положення. Елементи тонкостінних посудин, навантажених внутрішнім тиском: навч. посіб./ — К: НТУУ «КПІ», 2011. — 272 с. — 300 пр.
22. Мікульонюк І.О. Проектування теплової ізоляції обладнання хімічних виробництв
23. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1991 – 496 с.
24. Закон України "Про охорону праці" від 14.10.92 р. № 2694-ХІІ.
25. ДСН 3.3.6.042-99. Санитарные нормы микроклимата производственных помещений.
26. СНиП 2.04.05-91\* от 01.01.1992. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
27. ОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление (с Изменением N 1).
28. СН 245-71. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий.
29. ГОСТ 2823-73: Термометры стеклянные технические. Технические условия.
30. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення.

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
ЗМН	Апк	№ Дпк/ім	Підпис	Дата		107

- 31.ДСН 3.3.6.037-99 Санитарные нормы производственного шума, ультразвука и инфразвука.
- 32.ОНТП 24-86. Определение кате-горий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности.
- 33.СНиП 2.09.02-85\* Производственные здания. С изменениями.
- 34.ДНАОП 24.1-1.05-77. Правила безопасности для производств неорганических химических реактивов.
- 35.Мікульонюк І.О. Монтаж, експлуатація та ремонт обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв: Навч. посібник. – К.: ІЗМН, 1998.–256с.
- 36.Методичні вказівки до виконання дипломного проекту освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр» для студентів, що навчаються за напрямом підготовки 6.050503 Машинобудування : [Електронний ресурс]: / НТУУ “КПІ”; уклад. Степанюк А.Р.- Київ: НТУУ “КПІ”, 2019. – 68 с.
37. Марчевський В.М. Конструкторська документація курсових і дипломних проектів : Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. – К. : Норіта-плюс, 2006. - 280с. : іл. ISBN 966-2975-04-7.
38. Маркетинг стартап-проектів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для усіх спеціальностей другого освітнього ступеню «магістр» / С. О. Солнцев, О. В. Зозульов, Н. В. Юдіна, Т. О. Царьова, Н. В. Язвінська ; за заг. ред. С.О. Солнцева ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 3,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 218 с. URL : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27437>
- 39.Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
- 40.Standard Management Systems QUALITY MANAGEMENT Textbook for students and post-graduate students on specialty 131 "Applied mechanics"/ S.

					ЛН81мп.066211.001ПЗ	Арк.
Змн.	Апк.	№ Інклім.	Підпис	Дата		108

Fomichov, A. Banin, I. Skachkov, V. Lysak, O. Gaievskiy, N. Yudina, Kiev:  
KIM, 2018 – P. 266

- 41.Форсайт економіки України: середньостроковий (2015–2020 роки) і довгостроковий (2020–2030 роки) часові горизонти / наук. керівник проекту акад. НАН України М. З. Згуровський // Міжнародна рада з науки (ICSU); Комітет із системного аналізу при Президії НАН України; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»; Інститут прикладного системного аналізу НАН України і МОН України; Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку. — Київ : НТУУ «КПІ», 2015. — 136 с. ISBN 978-966-622-716-7.
- 42.Yudina N.V. Methods of the Startup-Project Developing Based on ‘the Four-Dimensional Thinking’ in Information Society // Marketing and Management of innovations. – 3’2017. – P.245-256.-DOI:10.21272/mmi.2017.3-23 Access mode : <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>.
- 43.Юдіна Н.В. Міждисциплінарні платформи стартап-проектів [Електронний ресурс] // Міждисциплінарні дискусії : Матеріали науково-теоретичного семінару «Міждисциплінарні дослідження: теоретико-методологічні виміри», 5 грудня 2017 р. – Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка Інститут міжнародних відносин Навчально-науковий центр «Синтез». – 2017. – С. 20-24. - Режим доступу [http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20ceminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20\(1\).pdf](http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20ceminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20(1).pdf).
- 44.Юдіна Н. В. Визначення циклічних залежностей в економіці України на основі аналізу окремих макроекономічних показників. Економічний Вісник НТУУ «КПІ». №13(2016). <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/80084/75643>
- 45.Юдина Н. В. Антикризисные маркетинговые инструменты инновационного развития предприятий / Н.В. Юдина // Маркетинг и финансы. – 2014. – Т. 1. – С. 60– 72.

46.Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризове управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127. – Режим доступу : [http://futurolog.com.ua/blog\\_konferencia\\_kneu\\_2015\\_12\\_15.phtml](http://futurolog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml).

47.Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризове управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127. – Режим доступу : [http://futurolog.com.ua/blog\\_konferencia\\_kneu\\_2015\\_12\\_15.phtml](http://futurolog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml).

Юдіна Н. В. «Дорожня карта» підприємства у контексті футурології техногенної економіки. Традиції і інновації. [Електронний ресурс] / Н. В. Юдіна // Інновації та фундаментальні науки в умовах техногенної економіки : зб. матеріалів міждисциплінар. наук.-практ. конф., Київ, 25 листоп. 2016 р. / [уклад. Л. І. Юдіна]. – К., 2016. – Режим доступу : <http://futurolog.com.ua/publish/2/Zbirnyk.pdf#page=6>.